

ETSEIAT

Trabajo de fin de Grado



UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA
BARCELONATECH

Escola Superior d'Enginyeries Industrial,
Aeroespacial i Audiovisual de Terrassa

Montaje de una impresora 3D y redacción de un manual práctico

Memoria

Grado: Grado en ingeniería en tecnologías industriales

Data de entrega: 30-09-2019

Estudiante: Miquel Martínez Alpín

Director: Montserrat Sánchez Romero

Codirector: Rafael Weyler Perez

TABLA DE CONTENIDOS

INDICE DE FIGURAS	4
INDICE DE TABLAS	7
INDICE DE ECUACIONES	8
1. INTRODUCCIÓN	9
2. ESTADO DEL ARTE	11
2.1 Estudio previo.....	12
2.1.1 Tipos de impresora.....	12
2.1.2 Tipos de filamento.....	14
2.1.3 Comparación y selección.....	17
3.MONTAJE DE LA IMPRESORA	18
3.1 Encargo de piezas.....	18
3.2 Listado de piezas y control	18
3.3 Proceso de montaje	20
3.3.1 Montaje de la base.....	20
3.3.2 Montaje del cabezal	22
3.3.3 Correa del cabezal	24
3.3.4 Montaje de los motores XYZ.	25
3.3.5 Montaje del motor extrusor.....	29
3.3.6 Montaje de las correas.....	31
3.3.7 Montaje de los límites de carrera	32
3.3.9 Fuente de alimentación.....	35
3.3.10 Test de funcionamiento	35
4 EVALUACIÓN DE PROBLEMAS I MEJORAS.....	40
4.1 Análisis de problemas	40
4.1.1 Primer test de impresión.....	40
4.1.2 El ruido	46
4.2 Mejoras	47
4.2.2 Placa base y protección ante el corriente	47
4.2.3 Sensor de nivelación.....	50

4.2.4 Drivers TMC.....	51
4.2.5 Actualización del firmware a Marlin 1.1.9	53
4.2.6 Introducción del controlador MKS	73
4.2.7 Instalación de un calentador de silicona i el relé de estado sólido.....	74
4.2.8 Fuente de alimentación.....	80
4.2.9 Mejora del sistema mecánico	81
4.2.10 Sujeción para la correa del cabezal	82
4.2.11 Aislamiento térmico y cerramiento	83
5 MONTAJE DE LA IMPRESORA Y MANUAL PRÁCTICO	87
5.1 Repetier – Host.....	88
5.1.1 Primeros pasos	91
5.1.2 Configurar parámetros de impresión en Slicer o Cura	92
5.1.3 Control manual.....	95
5.2 Pronterface y correcta calibración de altura.....	96
5.3 Proyecto práctico	100
5.3.1 Diseño del modelo	100
5.3.2 Impresión del modelo	102
5.3.3 Montaje de la electrónica	106
6. PRESUPUESTO	112
7. PLIEGE DE CONDICIONES TÉCNICAS.....	113
7.1 Mantenimiento del sistema y uso.....	113
7.2 Normas de seguridad durante la instalación	114
8.PLANOS.....	114
9. CONCLUSIONES	122
10. BIBLIOGRAFIA	124
ANEXO A.....	126
ANEXO B	138
1.1 Definición	138
1.2 Listado de gcode.....	138
ANNEX C – AUTOINFORME DE QUALITAT (TFG / TFM).....	141
ANNEX VI – DECLARACIÓ D’HONOR.....	145

INDICE DE FIGURAS

Figura 1 Comprobante de la compra	18
Figura 2 Evaluación del estado del paquete	19
Figura 3 Captura del desperfecto superior	19
Figura 4 Comprobación del listado de piezas.....	20
Figura 5 Primer paso para el montaje	21
Figura 6 Continuación del montaje de la base	21
Figura 7 Montaje de los soportes de la base	22
Figura 8 Montaje de las placas de deslizamiento	23
Figura 9 Inserción de la cadena para cables del cabezal.....	24
Figura 10 Montaje de el cabezal a la base	24
Figura 11 Soldadura del cable roto	25
Figura 12 Montaje de los motores mediante placas XY	26
Figura 13 Montaje de las poleas y correas de distribución.....	26
Figura 14 Montaje y orientación de los motores	27
Figura 15 Preparación de las guías en Z	27
Figura 16 Montaje de los asentamientos para varilla	28
Figura 17 Fijación de los motores mediante perfiles T	28
Figura 18 Conjunto de imágenes que indica su posición	29
Figura 19 Montaje para los cierres AM3 de la cama.....	30
Figura 20 Colocación del perfil impreso.....	30
Figura 21 Fijación de la cama a la base	31
Figura 22 Representación de la distribución de correas mediante programa Lucid Chart.....	32
Figura 23 Montaje de los sensores en el perfil negro	33
Figura 24 Parte trasera del controlador con los conectores del LCD	33
Figura 25 Representación del conexionado a la placa base.....	34
Figura 26 Representación de las conexiones del cabezal y cama caliente	34
Figura 27 Primer test para la impresora, el encendido.....	35
Figura 28 Primera impresión de la máquina	41
Figura 29 Origen del problema, la obstrucción del cabezal	44
Figura 30 Segunda impresión y mejora de calidad	45
Figura 31 Montaje del ventilador.....	46

Figura 32 Conjunto de ventiladores, cabezal y pieza.....	47
Figura 33 Montaje de derecha a izquierda indicando alimentación, cama y cabezal.	49
Figura 34 Montaje del sensor con los tres pines de color y el blanco/negro.	50
Figura 35 Sensor en funcionamiento	50
Figura 36 Conexión de los drivers y sus disipadores en la placa.....	52
Figura 37 Diagrama del esquema eléctrico en el TMC realizado mediante Lucid Chart	53
Figura 38 Ajuste de voltaje en motores XY en Izquierda y E en derecha.....	53
Figura 39 Archivo ejecutable para la programación del sistema	54
Figura 40 Captura del código de termistores según uso dentro del programa	58
Figura 41 Captura para la gestión de librerías en Arduino	64
Figura 42 Instalación y actualización para la librería del TMC 2208	64
Figura 43 Posición del sensor respecto el cabezal	67
Figura 44 Esquema de la matriz de puntos bilineal	70
Figura 45 Controlador MKS desconectado y en funcionamiento	73
Figura 46 Error durante el uso del MKS	73
Figura 47 Esquema para circuito del calentador y relé, realizado mediante Lucid Chart.....	76
Figura 48 Esquema para la conexión a tierra del calentador, realizado mediante Lucid Chart .	77
Figura 49 Relé sólido parado y durante su funcionamiento	78
Figura 50 Curva de temperaturas sin el uso del relé	79
Figura 51 Curva de temperatura usando relé y calentador	79
Figura 52 Instalación del disipador Intel dentro de la fuente de alimentación	80
Figura 53 Transmisión inicial del movimiento en dos niveles.....	81
Figura 54 Nueva transmisión de movimiento junto a poleas X e Y.....	82
Figura 55 Nueva pieza para la unión de la cadena.....	82
Figura 56 Disipación del calor según altura, realizada con Lucid Chart	83
Figura 57 Esquema con iPad de la distribución de paneles a la izquierda y su montaje a la derecha.....	84
Figura 58 Pintura del cerramiento e instalación del sistema de cierre.....	84
Figura 59 Problemas para cortar el metacrilato mediante sierra caladora	85
Figura 60 Detalle de soldadura a la izquierda y test de iluminación a derecha.....	86
Figura 61 Resultado final para el cerramiento.....	86
Figura 62 Impresión de carcasa MKS y placa base	87
Figura 63 Resultado final tras la gestión de cables	87
Figura 64 Esquema para todo proceso de impresión, realizado mediante Lucid Chart	88
Figura 65 Configuración de conexión en el programa de corte	89

Figura 66 Configuración de la impresora en el programa de corte	89
Figura 67 Configuración del extrusor en el programa de corte	90
Figura 68 Configuración de la cama en el programa de corte	90
Figura 69 Captura de la función copiar	91
Figura 70 Captura de la función escalar	91
Figura 71 Captura de la función rotar	92
Figura 72 Captura para el menú de Cura	92
Figura 73 Configuración de parámetros referentes a velocidad de impresión	93
Figura 74 Ajuste de la altura de capa o definición de la pieza	93
Figura 75 Configuración de apoyos.....	93
Figura 76 Menú de preimpresión.....	95
Figura 77 Panel de control en Pronterface	96
Figura 78 Posición del cabezal después de ejecutar G28.....	97
Figura 79 Guardado del parámetro Z.....	98
Figura 80 Posición del cabezal una vez calibrado	98
Figura 81 Conjunto de valores para la matriz de nivelación	99
Figura 82 Vista frontal del altavoz en SolidWorks.....	101
Figura 83 Vista posterior del altavoz en SolidWorks.....	101
Figura 84 Esquema del circuito electrónico	102
Figura 85 Primeros intentos de impresión para el altavoz	103
Figura 86 Mejora en el proceso de impresión del altavoz	104
Figura 87 Piezas completamente impresas.....	104
Figura 88 Proceso de impresión final.....	105
Figura 89 Resultado final para la impresión.....	105
Figura 90 Montaje de las celdas.....	108
Figura 91 Esquema del circuito para la batería.....	108
Figura 92 Esquema con las soldaduras correspondientes	108
Figura 93 Esquema para la soldadura del BMS.....	109
Figura 94 Test de carga para la batería	110
Figura 95 Diseño final del altavoz	111

INDICE DE TABLAS

Tabla 1:Valores de tensión y corriente indicados para el montaje.....	53
Tabla 2: Ventajas y desventajas de cada sistema	75
Tabla 3 Presupuesto material establecido para el proyecto.....	112

INDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1 Intensidad para los motores	52
Ecuación 2 Calibración de altura en Z	97
Ecuación 3 Necesidad energética de la batería	106
Ecuación 4 Tiempo de uso para la batería	107
Ecuación 5 Cálculos para la obtención de una batería según las especificaciones deseadas...	107
Ecuación 6 Voltaje final de la batería	111

1. INTRODUCCIÓN

Objeto:

El objetivo de este proyecto es el montaje de una impresora 3D y la solución de posibles problemas durante el montaje. Se escogerá las piezas correspondientes y se optimizará el modelo. Además, se redactará una guía práctica para el usuario.

Alcance:

El proyecto queda delimitado por

- Estudio previo de la tecnología 3D y tipos de impresoras
- El montaje de la impresora
- Análisis de la calidad de impresión y posibles problemas
- Estudio e implementación de mejoras
- Elaboración de la memoria
- Planos del proyecto
- Presupuesto del proyecto
- Presentación PowerPoint.

Requerimientos:

- La impresora debe tener el mayor volumen de impresión posible.
- El consumo eléctrico no debe superar los 800Wh
- La cama caliente debe permitir la impresión en ABS a temperaturas de 90°C
- El presupuesto material no debe superar los 600 euros
- La impresora debe incorporar un sensor de nivelación automática

Motivaciones

El mercado de las impresoras 3D se encuentra en crecimiento, es una tecnología que ofrece muchas posibilidades de diseño a arquitectos e ingenieros. Hace tiempo que se ha planteado la posibilidad de adquirir una impresora y este proyecto brinda la oportunidad para poner en práctica los conocimientos en electrónica, mecánica y materiales adquiridos a lo largo de la carrera.

El diseño de la guía para el usuario facilitará el montaje y uso a aquellas personas que quieran entrar en este mundo, la gente sin conocimientos o una experiencia extensa en el ámbito podrá solucionar fácilmente los problemas que suelen acompañar este tipo de montajes.

Las ventajas de este enfoque es que al realizar el montaje se adquiere un conocimiento exhaustivo de las piezas y su función, además tenemos la opción de personalizar y mejorar el equipo con una amplia gama de posibilidades.

Como inconveniente está el hecho que se realiza este proyecto sin un conocimiento previo del sector, y por tanto se parte desde cero. Las fuentes de información para el desarrollo del trabajo de centrarán en las experiencias de otros usuarios.

El desarrollo del trabajo ha comportado diversas etapas, el estudio previo ha supuesto poco tiempo y ha seguido el planteamiento del Project charter. Durante el montaje de la impresora ha habido algún retraso y el apartado se ha concluido el 3 de abril del 2019. La evaluación de problemas y mejoras ha supuesto el mayor tiempo para este proyecto, también ha habido un retraso respecto al planteamiento inicial y se ha concluido el apartado el 15 de septiembre del 2019. Finalmente, el proceso de documentación se ha gestionado desde finales de marzo hasta el 10 de septiembre del 2019.

2. ESTADO DEL ARTE

El sector de la impresión 3D es relativamente nuevo, cada vez se puede observar más información sobre esta tecnología. La versatilidad que ofrecen estas máquinas para diseñar y crear productos supone una revolución. Considerando el ajuste de precios y el creciente catálogo de optimizaciones disponibles, es lógico ver un aumento de ventas del sector.

Según un estudio realizado por la consultoría Context “El mundo de la impresión 3D se encuentra en pleno crecimiento, durante el 2016 la demanda de modelos para el usuario creció un 25%”. **(Imprimalia3D.com, 2019)**

El gigante de la información IDC pronostica que “se estima un gasto global de 13.800 millones de dólares para este año, esto supone un aumento del 21,2 % respecto al 2018”. **(Interempresas.net, 2019)**

Como se ha comentado, el nivel de información durante los últimos años respecto este sector es muy superior al de hace diez años. No sólo podemos ver un crecimiento en la vertiente doméstica, el sector industrial también empieza a incorporar esta tecnología en procesos de fabricación.

Este mercado dispone de un gran número de modelos, desde hace años los kits de ensamblaje han supuesto un reto para aquellos que desean montar una impresora desde cero, Con un conjunto de piezas seleccionadas y la posibilidad de sustituirlas a lo largo del tiempo. De esta forma se produce una dinámica de mejora constante en la máquina. Por eso, puede que el montaje de la inicial de la estructura sea el mismo, pero cada propietario puede personalizar su modelo e imprimir piezas que optimizan el diseño inicial.

Actualmente, es relativamente fácil encontrar información acerca del montaje básico de los modelos. Dentro del sector se ha formado una comunidad que ayuda a la gente sin experiencia, el principal método para obtener datos hoy en día es a través de internet. También hay usuarios particulares que crean guías, videos informativos y lo suben a plataformas como YouTube.

Además, también es posible encontrar diseños de piezas personalizados y totalmente funcionales en comunidades online como Thingiverse. Los ejemplares asociados al diseño “Prusa i3”¹ tienen una comunidad más extensa y por lo tanto más guías para el usuario.

Aun así, la información acerca de un prototipo viene dada en su mayoría por la comunidad que adquiere el modelo. Por ello, aunque este sector esté en crecimiento, habrá máquinas para las que no será posible encontrar información acerca del ensamblaje si no han tenido un peso importante en el mercado.

Además, el desarrollo de estos sistemas en España está por debajo de la media, eso quiere decir que prácticamente toda la información que se puede obtener está en inglés. Al ser consciente de que no cualquier persona tiene suficiente nivel para entender ciertas instrucciones en el idioma, aquí surge uno de los principales motivos por los que se lleva a cabo el proyecto. La redacción de una guía práctica para el usuario permite facilitar el entendimiento para el español medio que quiera hacer su propia impresora 3D.

2.1 Estudio previo

2.1.1 Tipos de impresora

Actualmente existen muchas tecnologías dentro del mundo de impresión 3D, algunas de las más conocidas se resumen a continuación. (Locker, 2019), (Matunara, 2019)².

Impresoras SLA: Las impresoras de estereolitografía actúan exponiendo una capa de resina líquida a un rayo láser UV. Esto produce un endurecimiento del material. Una vez que la capa se ha solidificado, la plataforma de impresión baja y el rayo actúa sobre la capa superior formando así la pieza en sentido ascendente. Esta tecnología creó las primeras impresoras en 1983 y ofrece unas piezas con superficies lisas, un gran nivel de detalle. Debido a esto, hay un uso creciente en sectores como joyería y odontología para la creación de moldes.

¹ “Prusa i3” hace referencia a un modelo de impresora del tipo FDM que incorpora el movimiento de la cama en el eje Y mientras que el del cabezal se mueve en el plano XZ.

² La información respecto a las diferentes tecnologías de impresión se ha obtenido mediante la traducción de un artículo publicado por Anatol Locker en All3dp.com, también otro artículo por Jesús Maturana en portal Xataka.com. Se adjunta la dirección del mismo en la bibliografía, consulta en febrero de 2019.

Impresoras SLS y SLM: Las impresoras SLS³ son similares a las SLA. Su diferencia radica en que el sinterizado se hace sobre un material en polvo en vez de resina líquida. Una vez el láser ha solidificado el objeto, debe dejarse enfriar en la máquina. La ventaja de este sistema es su capacidad para trabajar con materiales como nylon, vidrio, cerámica o aluminio o incluso acero. Debido al uso de láseres de precisión, este tipo de máquinas resultan demasiado costosas para un usuario promedio.

La tecnología SLM⁴ utiliza el láser para la fundición completa de materiales en polvo como acero, aluminio y titanio. Son estructuras complejas diseñadas para trabajar en sectores como la industria aeroespacial.

Impresoras FDM⁵: Su principal característica radica en la creación por deposición fundida de plástico, es decir, genera las piezas a través de una superposición de capas en sentido vertical, con un grosor variable de 0.1 a 0.4 milímetros. La variedad de modelos FDM es inmensa y altamente personalizable, dentro de las impresoras FDM existe la posibilidad de trabajar con coordenadas cartesianas (XYZ), o coordenadas polares.

Esta tecnología ofrece máquinas que pueden ofrecer piezas de alta calidad, con precisiones en los ejes XY de 0,012 mm y 0,004 mm en el Z. Además, ofrecen los equipos más asequibles en cuanto a precio y facilidad de uso, debido a esto es el tipo de impresoras que abarca un mayor mercado actualmente y en la que nos basaremos para el desarrollo del proyecto.

El funcionamiento general de la máquina se basa en el calentamiento de un filamento polimérico hasta la temperatura de fusión, el plástico se imprime en forma de hilo gracias a un motor extrusor que lo empuja a través del conducto de alimentación. El filamento es empujado hasta llegar al cabezal de impresión, donde se calienta hasta la temperatura deseada, así se genera una impresión sobre la superficie o cama caliente.

Dependiendo del modelo, podremos optar por un sistema “Core XY” que desplaza el cabezal en este plano, por lo que la cama sólo se moverá en el eje Z, también podemos optar por modelos como las Prusa i3.

³ Hace referencia a sinterizado selectivo por láser.

⁴ La definición de este nombre es la fusión selectiva por láser.

⁵ Las traducciones de estas siglas corresponden a modelado por deposición fundida.

Otras impresoras: Existen otros tipos de impresora sobre los que no especificaremos nada, aunque su tecnología resulta interesante. Es el caso de las impresoras EBM⁶, que permiten una alta presión al vacío y temperaturas de trabajo de 1000°C, pudiendo trabajar con un gran número de metales y con un gran impacto en industrias aeroespaciales.

2.1.2 Tipos de filamento

Actualmente el mercado ofrece una gran cantidad de opciones en cuanto a la composición del filamento, cada composición tiene unas propiedades físicas y aspecto singulares. Hay determinados materiales con los que sólo se podrá trabajar bajo unas condiciones específicas, por lo tanto, es importante definir con que componentes queremos imprimir ya que esto afectará al tipo de impresora con el que se deberá trabajar. (Rohringer, 2019)⁷

Hay que tener en cuenta que un mismo polímero puede ser fabricado por diferentes empresas y cada fabricante puede dar un rango en las especificaciones de trabajo ligeramente diferentes.

PLA o Ácido poli láctico

- Es el polímero por definición, este es el material más usado hasta el momento debido a su fácil impresión. A diferencia de otros plásticos, este se obtiene de la caña de azúcar o el almidón de maíz a través de un proceso de destilación. Una de las propiedades que suscita el interés general se debe al hecho de ser biodegradable, puede descomponerse bajo las condiciones apropiadas en un periodo de dos años.
- Se recomienda una temperatura de impresión en un rango de (185 -210°C).
- No es estrictamente necesario calentar la cama de impresión, aunque algunos fabricantes recomiendan una temperatura de (40-60°C).
- Hay que tener en cuenta que, al ser biodegradable, en contacto con agua u oxido de carbono se produce una degradación, por lo que no es un material óptimo para entornos en los que las piezas se puedan mojar.
- Su baja temperatura de transición vítrea está alrededor de los 60°C, las propiedades mecánicas del material a medida que se acerca a esta se reducen significativamente,

⁶ EBM es la tecnología de impresión de fusión por haz de electrones

⁷ La sección 2.1.2 Tipos de filamento se ha obtenido a partir de la información de un artículo publicado en internet por Sean Rohringer, con la correspondiente referencia en la bibliografía.

por lo tanto, no es recomendable su uso para piezas que puedan estar expuestas a calor o al aire libre.

ABS⁸

- El ABS corresponde al segundo termoplástico más usado después del PLA, aunque tiene un proceso de impresión complicado, ofrece unas propiedades mecánicas superiores a las del PLA. Es más duro, resistente y con una mayor tolerancia al calor. Se debe tener en cuenta que no es un plástico reciclable como el PLA, un mal uso puede ser contaminante para el medio ambiente.
- Su uso es recomendable para piezas que puedan estar sometidas a desgaste, engranajes, componentes en contacto con electricidad o fuentes de calor.
- Como se ha comentado antes, es un material con una impresión de cierta dificultad. El principal problema es que las capas sufren una deformación por la diferencia de temperatura de impresión y la del medio. A medida que se va enfriando la pieza se produce un efecto conocido como “warping”⁹. Para solucionar esto se debe trabajar con temperaturas de impresión en un rango de 220-250°C y 80-110°C para la cama.

PETG¹⁰

- Este es considerado uno de los plásticos más usados en el mundo, al margen del mundo 3D podemos encontrar el PET en envases de comida, botellas de agua o incluso en filamentos para la ropa.
- Su característica principal se debe a que es un material intermedio entre el PLA i el ABS, ofrece mejores propiedades que el primero, es más resistente i duradero, por otro lado, aunque no está a la altura del ABS su impresión es más sencilla.
- La temperatura de impresión es similar a la del ABS, teniendo en cuenta que cada fabricante puede dar un margen específico, se considera óptimo en los 220-250°C. La ventaja de este material es que su temperatura en la cama puede ser de 50- 75°C. Como punto negativo se debe tener en cuenta que el filamento es higroscópico¹¹.

⁸ El nombre técnico desarrollado para las siglas es Acrilonitrilo butadieno estireno.

⁹ El término inglés “warping” hace referencia al proceso físico por el cual los vértices de una pieza se despegan de la cama, esto se produce como consecuencia de una gran diferencia de temperatura entre la cama caliente y una determinada altura.

¹⁰ El nombre técnico desarrollado para las siglas es Tereftalato de polietileno.

¹¹ El término higroscópico implica que un material absorbe la humedad en un determinado entorno.

- Se debería contactar con el fabricante para asegurar que es seguro su uso en contacto con alimentos.

Nylon

- Este material tiene unas propiedades mecánicas excelentes, similares a las de ABS y con una elasticidad superior. Su principal desventaja reside en un proceso de impresión complicado y al hecho que el filamento es higroscópico, al absorber la humedad debemos procurar guardarlo en un ambiente seco.
- Su temperatura de trabajo es de 240-260°C para impresión y 70-100°C para la cama. Se considera un material con cierto *warping*, aunque no en el mismo grado que el ABS.
- Se pueden crear herramientas o piezas mecánicas sometidas a fricción.

Filamentos flexibles o exóticos

A medida que crece el mercado de la impresión 3D han ido apareciendo nuevos materiales, algunos de estos tienen propiedades muy diferentes a los convencionales ya descritos. Por ejemplo, existe el TPE, un elastómero con una gran flexibilidad y suavidad. Asimismo, es capaz de resistir compresión y tracciones que podrían romper piezas de PLA o ABS, esto se debe a su capacidad elástica.

- Algunos desarrolladores han usado este material para hacer fundas de móvil o incluso calzado de deporte. Es ideal en piezas que requieran cierta deformación.
- Su temperatura es de 210 – 230°C para impresión y 30- 60°C para la cama. No suele tener problemas de warping, pero al ser un filamento flexible puede dar muchos problemas dependiendo del extrusor de la máquina. Como se comentará más tarde hay dos tipos de extrusores, el directo y el “Bowden”¹², estos filamentos están pensados para una extrusión directa.

Otras posibilidades recientes son los filamentos con acabado de madera, metal y fluorescentes. Estos contienen trazas que les otorgan un aspecto ornamental atractivo con unas propiedades un poco inferiores en cuanto a flexibilidad y resistencia a la de los filamentos normales.

¹² Este mecanismo se diferencia del extrusor directo ya que el motor no se encuentra en el cabezal de impresión, suele estar separado a distancias entorno 50cm y el filamento se empuja por dentro de un tubo de teflón hasta llegar al cabezal.

- El uso de estos filamentos se centraría en objetos o piezas con una carga menos funcional, diseñadas para resaltar un aspecto atractivo cómo en el caso de cuencos o piezas para un mueble.

2.1.3 Comparación y selección

A continuación, se indica los modelos de impresora sobre los cuales se ha optado para la realización del proyecto, como se ha comentado, se usarán piezas para el montaje de una máquina FDM.

Impresoras cartesianas con estructura Prusa i3

- “Anet A8”: Este kit de montaje tiene uno de los menores precios de mercado. Su volumen de impresión es estándar y tiene un montaje complicado. Aun así, tiene una gran comunidad detrás, lo que permite una resolución de duras efectiva en muchos foros.
- “Creality Ender 3”: Este modelo de impresora es probablemente el más sencillo y rápido de montar, tiene un precio un poco superior al de la Anet, aunque es considerada la impresora con la mayor relación calidad/ precio. También tiene un amplio abanico de mejoras y personalización.

Impresoras cartesianas con estructura Core XY

- “Tronxy X5S”: Este modelo es quizás el proyecto más ambicioso de los tres, el kit permite un montaje con un volumen muy superior a los otros dos modelos. Según los comentarios de otros usuarios, esta impresora requiere un gran trabajo de actualización respecto a las piezas de fábrica, así como el sistema electrónico. Su precio es superior al de las demás opciones. No hay una gran comunidad detrás de este modelo, aunque permite una personalización elevada.

Habiendo sopesado estas tres opciones, se decide apostar por el proyecto con la estructura más grande, es decir, la Tronxy X5s.

3.MONTAJE DE LA IMPRESORA

3.1 Encargo de piezas

Una vez decidido el conjunto de piezas con las que se montará la impresora, se hace el encargo a través de la página china “Gearbest”. El pedido se hace a día 15 de febrero de 2019. Generalmente el comercio contiene y gestiona la mayoría de sus productos desde china, en este caso el producto partió de un almacén europeo por lo que el tiempo de llegada fue breve.

Track order 1

Shipment Number: CK190215022681 [Tracking Web](#)
Tracking Number: 1Z30W1536840672762 By Update 15/02/2019 15:09:41 PM

Trcking message

2019-02-20 04:45:00	Barcelona ES Destination Scan
2019-02-20 00:59:00	Barcelona ES Arrival Scan
2019-02-19 16:35:00	Meyzieu Jonage FR Departure Scan
2019-02-19 14:33:00	Meyzieu Jonage FR Arrival Scan
2019-02-19 06:49:00	Corbeil Essonnes FR Departure Scan
2019-02-18 11:21:00	Corbeil Essonnes FR Arrival Scan
2019-02-15 21:00:00	Dahlwitz-Hoppegarten DE Departure Scan
2019-02-15 16:13:57	Dahlwitz-Hoppegarten DE Origin Scan
2019-02-15 14:08:00	DE Order Processed: Ready for UPS


Description	Unit Price	Status	Subtotal	Operation
Fast-08 Warehouse Order No: 19021400951113176228 14/02/2019 20:17:58 Shipping Methods: PL-UPS-Oversea				
 <div>Tronxy X5S Kit de Impresora 3D de... Color Negro Size Enchufe EU Qty 1</div>	238.95€ 294.38€ Flash Sale	Shipped out	267.45€	Issue an invoice Confirm Receipt After-Sales Application
Item Sub-total			238.95€	
Shipping Cost			21.72€	
Shipping Guarantee			6.78€	
Grand Total			267.45€	

Figura 1 Comprobante de la compra

El hecho de encargar el producto a través de esta web a supuesto aproximadamente un ahorro del 50% respecto a otros comercios digitales como Amazon, o tiendas físicas. Esto permite invertir en el conjunto de mejoras que seguro serán necesarias para solucionar los posibles problemas y mejorar la calidad de la máquina.

3.2 Listado de piezas y control

Una vez que el producto ha llegado es importante comprobar que su estado sea correcto. Normalmente las mercancías que llegan desde Europa o China pasan la aduana española sin

problemas. Sin embargo, existe la posibilidad de que el paquete sea retenido y revisado. En ese caso los operarios pueden abrir y comprobar el producto por lo que puede haber piezas que falten o sean dañadas. Esto también puede suceder durante el trayecto entre aeropuertos si el pedido se realiza mediante correo aéreo, el paquete puede sufrir algún golpe que malmeta los componentes por lo que se debe realizar un control una vez se obtiene el pedido.



Figura 2 Evaluación del estado del paquete



Figura 3 Captura del desperfecto superior

Como podemos observar, el paquete llegó con varios golpes y un orificio considerable en el costado, aunque el precintado parecía correcto y no hay evidencias de haber sido abierto. En este caso, se debe documentar con fotos o video su estado y comprobar que estén todas las piezas. Esto nos servirá como garantía para devolver el producto. Compañías como Gearbest tienen políticas de devolución que pueden resultar tediosas, el proceso puede tardar entre uno o dos meses y suele pedirse pruebas fotográficas de que el pedido ha sido dañado antes de su apertura y uso.



Figura 4 Comprobación del listado de piezas

En la figura 4 puede observarse todas las piezas que vienen por defecto con el kit de impresión de la Tronxy X5S. En el paquete viene una memoria USB que contiene un comprobante de las piezas que debería haber para el montaje, una vez hemos asegurado que no falta nada se puede proceder a iniciar el montaje. Podemos observar una lista detallada con las piezas utilizadas y añadidas para el montaje en los anexos.

3.3 Proceso de montaje

3.3.1 Montaje de la base

Para llevar a cabo el ensamblaje de la base necesitamos

- 4 perfiles (A), 20x40x530 mm
- 4 perfiles (B), 20x20x530 mm
- 2 perfiles (C), 20x20x460 mm
- 4 tacos de goma
- 12 tornillos PM5x25
- 4 tornillos PM4x9
- 4 arandelas M4
- 4 perfiles T M4

Empezaremos colocando los 4 perfiles A en vertical sobre una superficie plana como puede ser el suelo, situar de forma que el borde de 40mm tenga la misma orientación en todos para garantizar una estructura vertical y alineada.

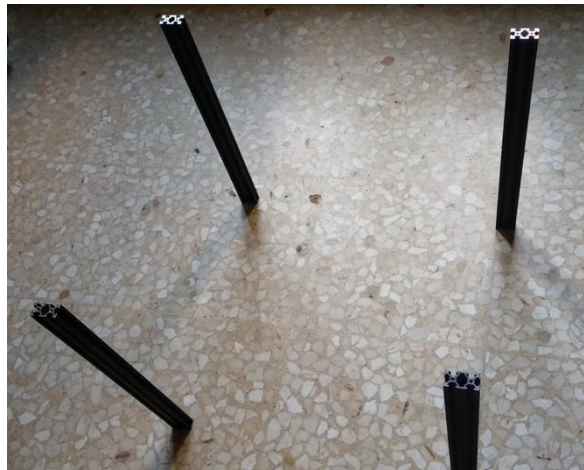


Figura 5 Primer paso para el montaje

Como se puede observar, estos perfiles tienen una doble forma en X con un orificio en el medio. A continuación, deberemos colocar los 2 perfiles C en horizontal, de forma que reposen sobre el borde interior del A y 2 perfiles B en vertical descansando en los bordes exteriores.



Figura 6 Continuación del montaje de la base

Debemos fijarnos en los perfiles que se han colocado encima. Estos tienen un orificio roscado que conecta con el perfil A, se unirán las partes mediante los 8 tornillos PM5x25 como se muestra en la figura 6.

Seguidamente se situará los tacos de goma que permiten descansar la base sobre la superficie. Primero se debe pasar una arandela y el tornillo M4 a través del orificio del taco, por el otro lado se unirá el perfil T M4 con el tornillo.

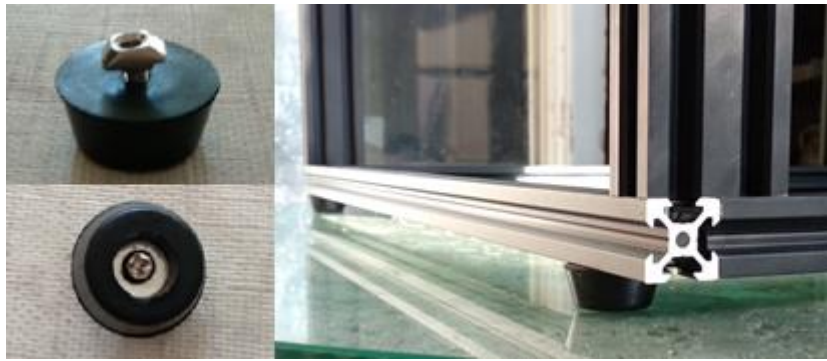


Figura 7 Montaje de los soportes de la base

Este proceso se repite 4 veces, una vez obtenidas todas las piezas se unirá estas a las esquinas de la base gracias al destornillador de estrella. Para obtener una base firme hay que colocar los tacos lo más cercanos posible a las esquinas.

Para finalizar el montaje se deberá colocar dos perfiles B i uno C en la parte superior, siguiendo el mismo procedimiento que el de la parte inferior. Debemos tener en cuenta que la base queda abierta por un extremo, antes de cerrarla completamente se procederá con el montaje del cabezal.

3.3.2 Montaje del cabezal

El montaje del cabezal se divide en dos etapas, para la primera etapa necesitaremos

- La base que previamente hemos montado
- Placas de deslizamiento izquierda y derecha
- 1 perfil de aluminio C
- 4 tornillos PM5x25
- 9 tornillos PM4x9
- 4 perfiles T M4

El objetivo es el montaje de la parte que fundirá el filamento y se moverá para crear las piezas deseadas. El primer paso consiste en montar las placas de deslizamiento izquierda y derecha. Desde hace un tiempo estas piezas vienen preensambladas directamente de la fábrica por lo que sólo se necesita colocar 2 tornillos a través de los orificios fijarlos con los perfiles T para cada placa deslizante. A continuación, se introduce los perfiles B superiores a través de las placas de deslizamiento dejando los cojinetes en la parte interior de la impresora.



Figura 8 Montaje de las placas de deslizamiento

Las marcas en la placa L, R hacen referencia al lado izquierdo y derecho sobre el que deberán montarse, para introducirlas sólo hace falta presionar el perfil B entre los rodamientos. Ahora ya puede cerrarse el volumen que genera la base, se coloca el perfil C sobre el lado restante y se fija con los dos tornillos PM5x25.

La segunda etapa consiste en el montaje del cabezal en sí, se necesitará

- Cabezal con la cadena
- 2 perfiles T M4
- 4 pasos M3 hexagonal
- Sujetador de cadena
- 2 tornillos PM3x10 mm
- 2 tornillos PM3x8 mm
- 2 tornillos PM4x9 mm
- Perfil D 20x20x484 mm

El primer paso es la sujeción del cabezal a la cadena mediante los 2 PM3x8mm y 2 pasos M3 hexagonales. Se introducirá el perfil D a través de los cojinetes del cabezal de la misma forma que las plataformas en la etapa anterior.

Seguidamente se anclará la cadena a la base mediante el sujetador, para ello debe fijarse la cadena al sujetador mediante 2 PM3x10 y M3 hexagonales, el sujetador se une a la base mediante 2 PM4x9 y los perfiles D. Para finalizar el montaje se debe acoplar el perfil D a la base, se unirá mediante los perfiles T que se colocaron en las placas de deslizamiento en la etapa anterior, se situará la barra por debajo y se fijará comprobando que sea paralela a los lados de la base.

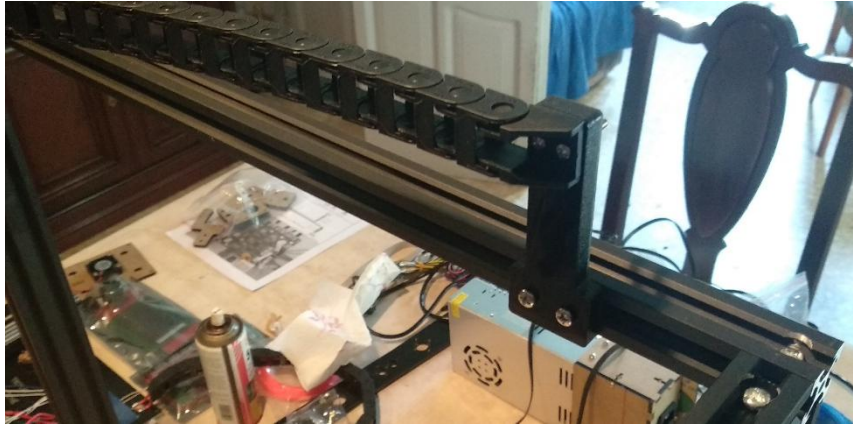


Figura 9 Inserción de la cadena para cables del cabezal

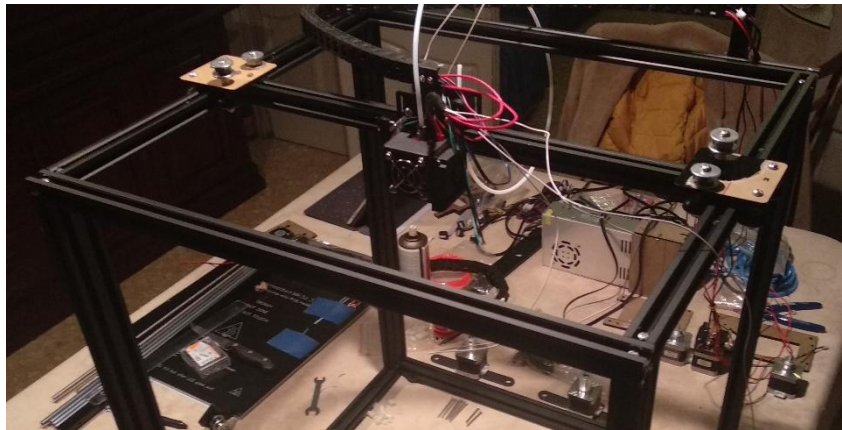


Figura 10 Montaje de el cabezal a la base

Debe comprobarse que el movimiento se produce sin esfuerzo, en caso contrario puede que el perfil no sea paralelo o un extremo produzca fricción con un lado de la base. Para resolverlo deberá liberarse y ajustar de nuevo comprobando que hay una mínima distancia de 3mm en ambos lados de la base.

3.3.3 Correa del cabezal

En la instalación del apartado 2.2.4 ha habido un accidente al resbalar la correa e intentar sujetarla por un cable. Como consecuencia este elemento se ha roto y el perfil de la cadena ha quedado torcido. Para solucionar el problema se procede a realizar una soldadura del cable roto. El inconveniente respecto la desviación de la cadena se tratará más adelante, una vez que la impresora pueda generar piezas.



Figura 11 Soldadura del cable roto

El mejor método para soldar implica la sujeción de uno o los dos cables con un instrumento de pinzas, se sitúa un papel de cocina por debajo para que los restos de material fundido no se peguen a la superficie de trabajo. Para la soldadura se utiliza un pequeño soldador de 220V y cable de estaño, se retira 8 mm del plástico protector por cable y se procede a la unión. Una vez acabada se cubre la unión con cinta termo retráctil negra, que al aplicar calor se adhiere y protege la zona.

3.3.4 Montaje de los motores XYZ.

Este montaje se dividirá en la instalación de motores X, Y primero, los correspondientes al eje Z requieren más tiempo y se explicarán a continuación. Para la primera etapa se necesita:

- Base montada
- Poleas del lado izquierdo y derecho
- 2 motores por pasos para ejes X, Y
- Sujeción para los motores X, Y
- 10 perfiles T M4
- 10 tornillos PM4x12
- 10 tornillos PM3x10

Un concepto que debemos tener claro es el tipo de motor con el que trabajamos, todos los ejes cuentan con motores Nema 17 bipolares. Esto implica que el motor puede girar en ambos sentidos dependiendo de la dirección de corriente que pase a través del bobinado. Se puede establecer un control preciso de la señal de corriente y por tanto del movimiento de estos motores a través de los drivers y la programación en Arduino¹³.

¹³ Arduino es un software para la programación de sistemas electromecánicos. El código de programación también suele llamarse Arduino y es un derivado de otros códigos como C++.

Por lo tanto, no importa que motor se escoja para el eje X o Y ya que son piezas idénticas cuyo movimiento sólo depende de la programación que se verá más adelante. El primer paso que se debe seguir es el acoplamiento de los motores a las sujeciones X, Y. Se procede pasando 4 tornillos PM3x10 que unen el motor a la pieza, también se utilizan 2 PM4x12 y perfiles T que unirán el conjunto a la base montada.

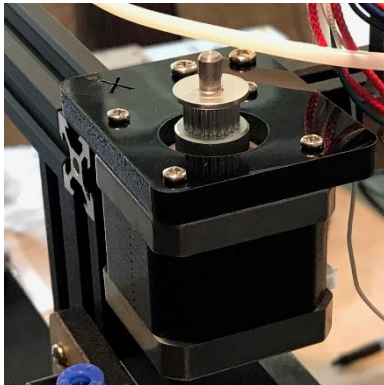


Figura 12 Montaje de los motores mediante placas XY

Como puede observarse, las piezas de transmisión motor-correa son diferentes. Se utilizará la pieza de la figura 12 para el motor X. Debemos tener en cuenta que la correa del eje Y necesita ir por encima de X. También se puede ver que los motores cuentan con una entrada rectangular para el acople de los cables, la letra que aparece sobre la sujeción del motor deberá ir en el lado opuesto de esta entrada, así se podrá instalar fácilmente sobre la base.

A continuación, se procede con el montaje de las poleas¹⁴, se introduce 3 PM4x9 y perfiles T para la sujeción de cada polea al lado frontal que le corresponde. Se instalarán sobre las esquinas superiores, encarándose a los motores de la misma forma que en la imagen figura 14.



Figura 13 Montaje de las poleas y correas de distribución

El último paso para el montaje de los motores X, Y es la instalación del conjunto motor-sujeción a la base. Para ello sólo debe tenerse en cuenta que la entrada para los cables debe ser orientada hacia el interior, por lo tanto, el eje X irá montado en el lado izquierdo y el Y en el derecho.

¹⁴ Estos componentes se modificarán en el capítulo de mejoras, debido a la preocupación por una carga excesiva sobre el eje.

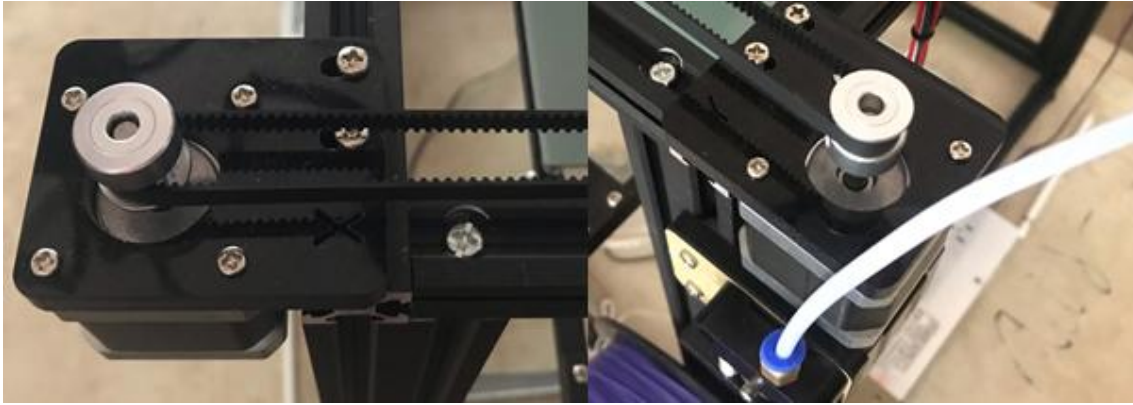


Figura 14 Montaje y orientación de los motores

De esta forma, la sujeción se puede fijar fácilmente mediante los PM4x12 y los perfiles T.

El siguiente paso consiste en el montaje para los ejes Z, para ello se necesita:

- 2 placas eje Z
- 4 guías Z
- 2 cojinetes cobre
- 24 tornillos PM3x8
- 2 motores por pasos Z
- 8 tornillos PM4x8
- 8 perfiles T M4
- 2 asentamientos para varilla roscada
- 4 arandelas partidas M4
- 4 varillas 4 diámetro 8x 528mm
- 2 varillas roscadas T8x453mm
- 8 tornillos PM4x20

Como puede verse en la figura 16, se fijarán las dos guías Z y el cojinete de cobre a cada placa del eje mediante los 24 PM3x8mm.



Figura 15 Preparación de las guías en Z

Debemos prestar atención a la orientación de las placas, estas tienen un orificio en un extremo. El ensamblaje de las piezas debe realizarse de forma que estos orificios queden orientados hacia el exterior tal y como se indica en la imagen. Esto será importante para la colocación de un sensor más adelante, por lo que si nos equivocamos deberemos desmontar muchas piezas. A continuación, se preparará los asentamientos para varilla roscada introduciendo dos PM4x9 i perfiles T respectivamente.



Figura 16 Montaje de los asentamientos para varilla

Los motores del eje Z a diferencia de los demás, van pre ensamblados a una base de fijación con orificios. Se introducirá también 2 PM4x9 y perfiles T en los dos orificios interiores para cada pieza, tal y como se muestra en la figura 18.



Figura 17 Fijación de los motores mediante perfiles T

En el ensamblaje de los motores Z a la base se necesita seguir el siguiente procedimiento: Primero debemos insertar las dos varillas de 8 de mm a cada lado de las guías Z, en el centro se coloca la varilla roscada. A continuación, se une la varilla roscada a los cojinetes del motor¹⁵ mediante una llave Allen, se introducirá el asentamiento para la varilla roscada en el extremo superior de esta y se fijará de la misma forma. El asentamiento debe quedar unos tres milímetros por debajo de los extremos de las varillas laterales.

¹⁵ Estos cojinetes pueden observarse en la figura 18. Uno de los componentes presentaba defectos de fabricación, lo que generaba fricción al mover la cama en Z. Por ello, se ha decidido cambiar por otro modelo detallado en el anexo del listado de piezas.

Seguidamente se unirá el conjunto a los perfiles que conforman el lateral de la base mediante cuatro PM4x20, tal y como indica el diagrama. Finalmente, se deberá fijar los perfiles T de los asentamientos y de la fijación del motor al perfil base, ajustando los tornillos PMx9.

3.3.5 Montaje del motor extrusor

La instalación del extrusor de plástico es sencilla, para ello se necesita:

- Extrusor pre ensamblado.
- Perfil base montado.
- 2 PM4x9
- 2 perfiles T

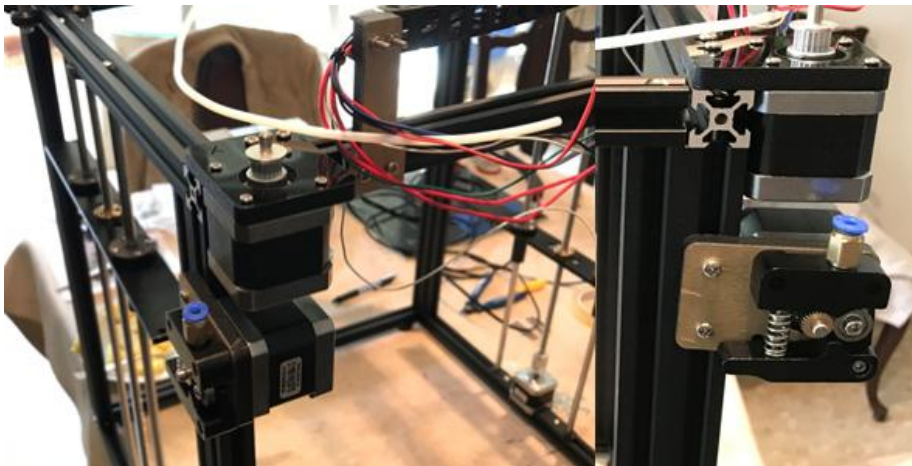


Figura 18 Conjunto de imágenes que indica su posición

Se debe de fijar este al perfil base mediante dos PM4x9 sus respectivos perfiles T. Se colocará debajo del motor X, con la válvula de cierre mirando hacia arriba tal y como indican las fotos. Para finalizar el proceso se introducirá el tubo extrusor a través del tapón azul, quedará fijado simplemente con un poco de presión. Debemos tener en cuenta que, se puede colocar el extrusor donde el usuario crea conveniente, siempre que la longitud del tubo de teflón sea suficiente. En este caso, por comodidad se ha situado tal y como se indica en la figura 20.

3.3.2 Montaje de la cama caliente

Las piezas necesarias para el montaje de la cama son

- Perfil base montado
- Cama caliente 330x330
- 2 varillas metálicas
- 6 cierre AM3
- 2 PM4x9
- 6 muelles

- 10 cierre hexagonal M3
- 6 KM3x30
- 8 PM4x12
- Perfil impreso de la cadena
- 6 PM3x10
- Perfil base de la cadena
- 2 perfil T

En el primer paso se deberá fijar la cama a las varillas metálicas, para ello se colocará los muelles entre la placa de aluminio y las varillas, se pasarán los 6 KM3x30 por los agujeros y se fijara mediante 6 cierres M3. Se ajustarán los cierres de tal forma que la distancia entre la placa y las varillas sea de unos 8 milímetros.

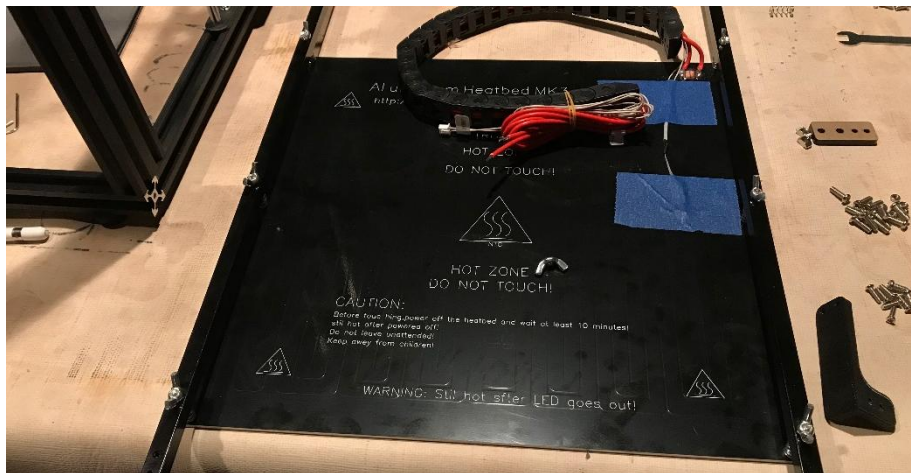


Figura 19 Montaje para los cierres AM3 de la cama

A continuación, se fijará el perfil impreso de la cadena a un extremo de la varilla, en el lado derecho. Para ello se utilizarán los dos PM3x10.



Figura 20 Colocación del perfil impreso

Para la colocación de la cama se deberá nivelar los perfiles Z de cada lado haciendo girar la varilla roscada. Se fijará la cama mediante 4 PM4x12 que pasarán por debajo de las varillas y conectarán con los orificios en los extremos del perfil Z.



Figura 21 Fijación de la cama a la base

El último paso consiste en la unión de la cadena que contiene el cableado de la cama al perfil base. Para ello se fijará un extremo de la cadena al perfil impreso mediante 2 PM3x10 y cierre hexagonal. El otro extremo se fijará a la base mediante el perfil base, 2 PM4x9, 2 PMx10, los cierres hexagonales y perfiles T.

3.3.6 Montaje de las correas

Para este proceso comporta la utilización de:

- 2 correas de 2.5m GT2
- 4 bridas

Como se ha comentado anteriormente, debe tenerse en cuenta que los motores X e Y transmitirán los movimientos en dos niveles a través de las poleas. A continuación, se muestra una imagen detallando como la correa que parte del motor X debe pasar por los cojinetes inferiores, la correa que proviene de Y irá por el nivel superior.

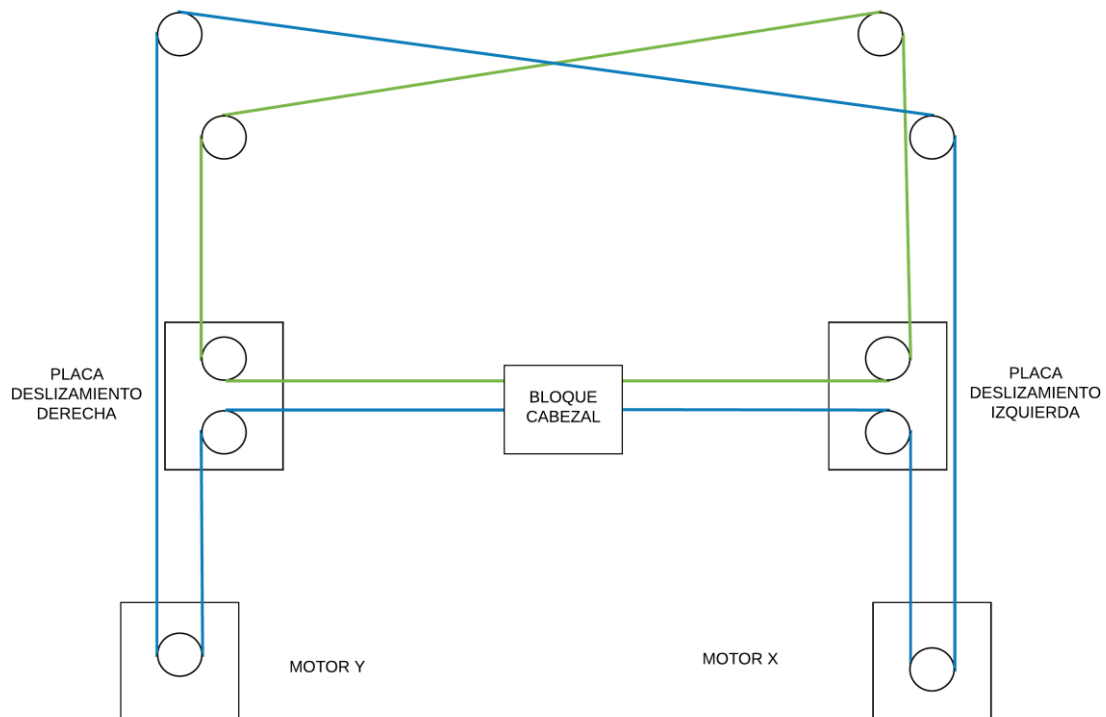


Figura 22 Representación de la distribución de correas mediante programa Lucid Chart

La representación de la figura 24 indica el nivel inferior mediante el color azul y el superior mediante el rojo. Las correas se fijarán en diagonal mediante el soporte del cabezal perfil base, se ajustará la tensión de estas fijando un extremo y tirando del otro hasta conseguir una tensión similar a la de la cuerda de una guitarra. Finalmente se fijará el otro extremo mediante bridas.

3.3.7 Montaje de los límites de carrera

Los límites de carrera son los sensores que indicarán a nuestra impresora donde se encuentran las coordenadas X, Y, Z: (0,0,0). Por lo tanto, forman una parte imprescindible para el funcionamiento del sistema, para su montaje se necesitará

- 3 sensores X, Y, Z
- Sujetador Y, Z
- 4 PA2x10
- 2 perfiles T
- 2 PM4x9
- Tornillos PM3x35
- Cierre AM3

Por defecto, el límite de carrera de X ya viene montado en el conjunto del cabezal. Sólo se deberá conectar el cable correspondiente a la placa base. En el caso de Y e Z se fijará los sensores al sujetador mediante dos PA2x10 tal y como indica la siguiente imagen.

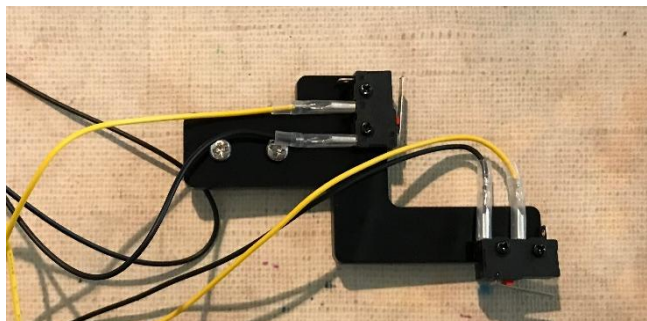


Figura 23 Montaje de los sensores en el perfil negro

A continuación, se debe fijar el sujetador al perfil base mediante dos PM4x9 y sus correspondientes perfiles T. Se colocará de forma que el sensor de Z esté orientado hacia abajo. El último paso consiste en colocar un PM3x35 a través del orificio del lado derecho de la cama caliente, se fijará mediante un cierre AM3. De esta forma el tornillo hará tope con el interruptor del sensor activándolo y evitando que nuestro cabezal impacte contra la cama.

3.3.8 Montaje de electrónica

El montaje de la electrónica de fábrica consiste simplemente en realizar el cableado de los componentes a la placa base. La placa que viene de fábrica junto al resto de componentes recibe el nombre de Melzi. En este apartado no se realizará programación del sistema operativo, ya que como se verá más adelante, se sustituirá la placa actual por una MKS GEN L.

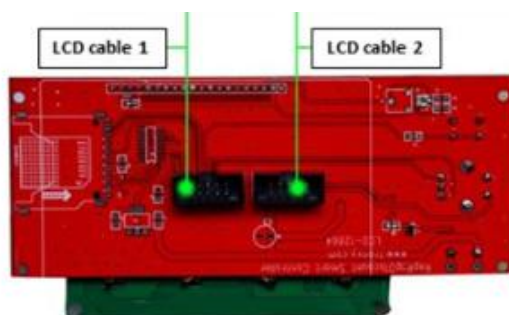


Figura 24 Parte trasera del controlador con los conectores del LCD

El cableado de la electrónica se realiza siguiendo el diagrama que la compañía proporciona.¹⁶

¹⁶ Las tres imágenes correspondientes al montaje de la electrónica no son hechas por el estudiante, se han obtenido gracias a la información que venía junto a las piezas encargadas.

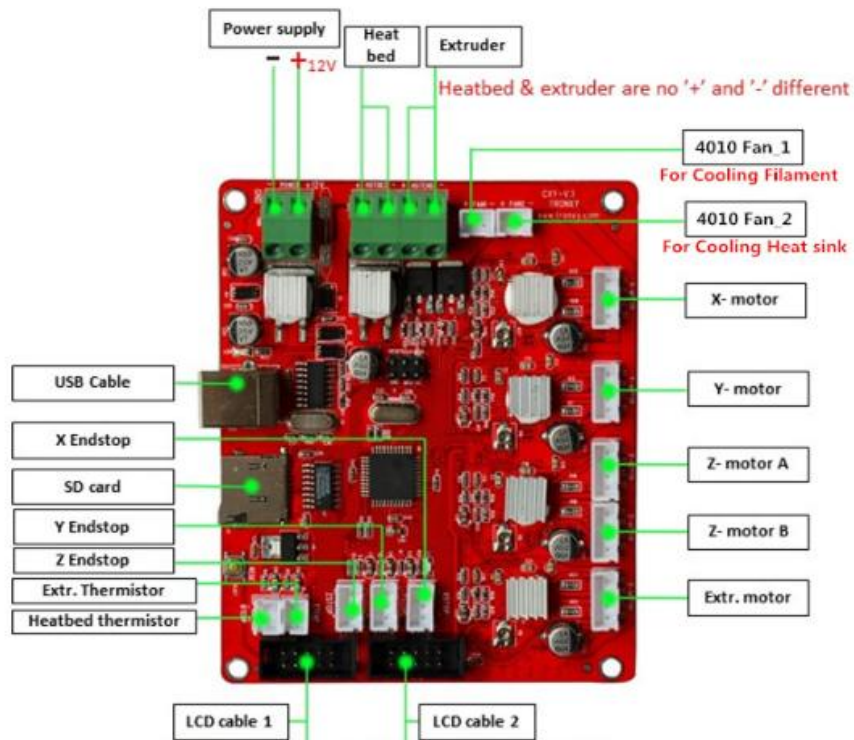
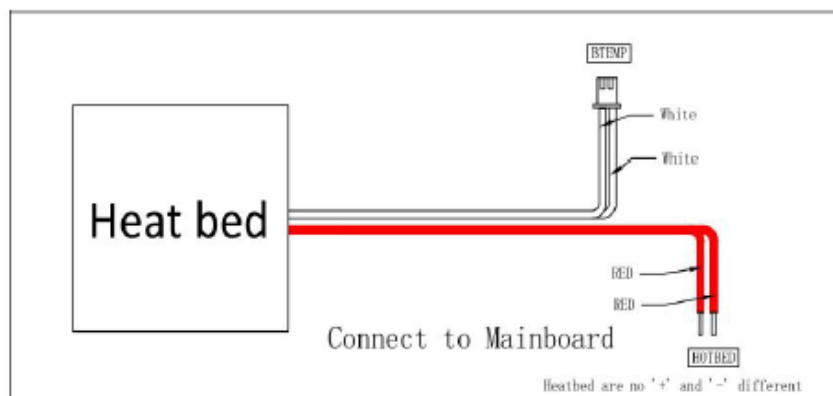


Figura 25 Representación del conexionado a la placa base



Heatbed 4P wires

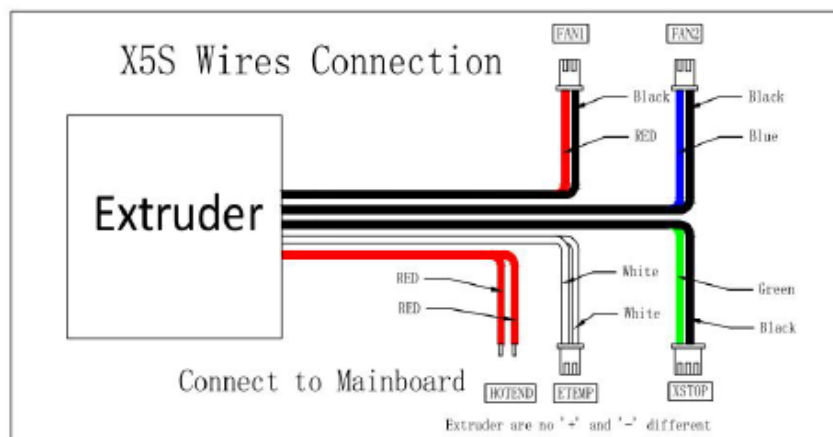


Figura 26 Representación de las conexiones del cabezal y cama caliente

3.3.9 Fuente de alimentación

Para el ensamblaje de la fuente de alimentación se necesita

- Fuente de alimentación
- Cable de conexión 220v
- 3 PM4x9
- 3 perfil T

La fuente de alimentación constituye un bloque cerrado, a priori no es necesario abrirla para ajustar nada. El fabricante envía una fuente estándar para países europeos con un potencial de entrada de 220/110 V según el país. Antes de conectarla deberemos asegurarnos de que la pestaña que incorpora a modo de funcionamiento indica que estamos usando 220 V.

A continuación, se unirá el conjunto al perfil base. Simplemente se debe pasar los 3 PM4x9 por los orificios y ajustar mediante los perfiles T, de modo que la salida del ventilador este orientada hacia el exterior. Se conectará el cable de 220V a la fuente mediante el adaptador que se encuentra debajo de interruptor. Para finalizar se deberá conectar los cables de potencia a la placa base, es muy importante fijarnos que el cable rojo entra en el terminal positivo y el negro en el neutro. En caso de equivocación podríamos quemar la placa base.

3.3.10 Test de funcionamiento

Una vez completado el montaje, vamos a comprobar que el sistema funciona. Para ello conectaremos el cable de corriente y encenderemos el interruptor, automáticamente podemos oír el ventilador de la fuente de alimentación y veremos que el LCD se enciende.



Figura 27 Primer test para la impresora, el encendido.

Si no ha habido ningún problema en el cableado a la placa, aparecerá por un segundo el logo de Tronxy junto a la versión de Marlin¹⁷ que se usa por defecto, en este caso 1.1.6. La pantalla

¹⁷ Marlin corresponde al sistema operativo de la impresora, basado en el lenguaje de programación en Arduino.

mostrará entonces un menú donde podemos observar el orden de temperaturas del Cabezal y la cama caliente en la parte superior, debajo se mostrará la temperatura real que detectan los termistores.

Dado el sistema no está imprimiendo por el momento, aparecerán guiones en los ejes X,Y,Z indicando que los motores están parados y no hay una orden de coordenadas. También se puede apreciar un logo de tarjeta SD conectada, una barra horizontal que indicará el progreso de impresión, así como el tiempo que llevamos con ella y un mensaje indicando que la impresora está lista para su uso.

Para desplazarnos por los menús se utilizará el controlador que incorpora el LCD en forma de botón giratorio. Pulsándolo accedemos al menú general desde donde se controla cualquier parámetro de impresión, para navegar en sentido descendente o ascendente giraremos el controlador en sentido anti horario o horario respectivamente. El menú inicial consta de

- Preparar
- Ajuste, (este submenú sólo aparece si estamos imprimiendo alguna pieza).
- Control
- Tarjeta SD

Preparar: Desde este menú se puede configurar los parámetros necesarios para ajustar la impresora antes de proceder a la impresión. Está dividido en otros menús donde podemos controlar:

- Mover Axis: el comando nos permite mover libremente el cabezal en dirección X, Y, Z. Al iniciar la impresora, esta marcará por defecto como coordenadas (0,0,0) la posición actual del cabezal y sólo permitirá desplazamientos en coordenadas positivas, de la misma forma, sólo se podrá desplazar la cama en sentido descendente.
Por lo tanto, si tenemos el cabezal situado en el centro de la cama únicamente podremos desplazarlo un cuadrante X, Y: (+, +). Para poder desplazar el cabezal por toda la cama deberemos ejecutar el comando Auto Home.
- Auto Home: Este comando da una señal a los motores para que desplacen el cabezal hasta la verdadera coordenada (0,0,0). Para ello, se moverá el conjunto hasta activar el interruptor de los sensores de fin de carrera colocados para cada eje. Es muy importante asegurarse de que estos sensores están correctamente colocados y conectados a la placa base, tal y como se ha mostrado durante el montaje. Un mal procedimiento en el montaje resultaría en un movimiento del cabezal en una dirección

sin final, por lo que impactaría sobre el perfil base y seguiría forzando el motor a moverse hasta producir una avería.

Una vez se ha ajustado el sistema correctamente se puede utilizar toda la cama, no hay porque preocuparnos por un exceso en el recorrido positivo ya que la placa base contiene la información con el tamaño de la cama.

- Calibrar coordenadas Home: Sirve para ajustar las coordenadas 0,0,0 después de haber realizado el comando Auto home. Puede suceder que la posición del cabezal al activar los sensores de fin de carrera no sea la que queramos, por ejemplo, una vez activado el sensor en Z la impresora se detiene y marca esa altura como la referencia para empezar a imprimir. Aun así, vemos que cuando el sensor es activado la cama ya está tocando el cabezal, entonces se debe ajustar el nivel Z hasta que haya un espacio entre cama y cabezal de 0,1 milímetros, seleccionamos este comando y el sistema guardará la posición como nueva altura de referencia.

- Deshabilitar motores: Cuando encendemos la impresora y los drivers reciben corriente, automáticamente se envía una señal a los motores para que se bloqueen si no están en movimiento. Podemos apreciar esto dada la dificultad con la que nos encontramos al hacerlos girar con la mano.

Puede que en algún momento nos interese ajustar la cama caliente y necesitemos desplazarla manualmente en el eje Z. Para ello se usará este comando, los motores no recibirán un corriente de bloqueo y será fácil manipularlos sin tener que parar la impresora.

- Precalentar: Antes de poder imprimir cualquier pieza, necesitamos calentar el cabezal y a veces la cama. Este comando establece una rutina de calentamiento con unas directrices ya guardadas

PLA: 180º extrusor/ 40ºC cama caliente.

ABS: 220º extrusor/ 90ºC cama caliente.

Estas directrices pueden ajustarse modificando el código de la impresora o desde el menú control. Recomendando siempre precalentar el sistema unos minutos y extruir manualmente unos milímetros de plástico para ver que no se ha obstruido el cabezal, de esta manera nos evitamos sorpresas una vez iniciado el proceso de impresión.

- Enfriamiento: Esta rutina es la opuesta de la anterior, envía una orden para que deje de suministrarse corriente al cabezal, la cama y establece un control de los termistores para 0°C. Por lo tanto, es una orden para la disipación de calor del sistema. Al acabar una impresión correctamente se ejecutará de forma automática, pero en el caso de que queramos interrumpir el proceso deberemos activarla.

Ajuste

Las órdenes de este menú sólo aparecen cuando el proceso de impresión se ha iniciado. Permiten modificar los parámetros en tiempo real y ajustar la configuración si vemos que algo no va bien.

- Velocidad: Como se detallará más adelante, la velocidad de impresión se puede programar desde software como "Cura" y es un parámetro guardado en el archivo de impresión. Aun así, se puede establecer un control manual de la velocidad ajustando mediante el controlador un valor en mm/s.
- Temperatura: del mismo modo que la velocidad, la temperatura viene definida en el archivo de impresión, pero puede modificarse si necesitamos un filamento más o menos viscoso. Como se ha comentado antes, cada fabricante establece un rango de temperaturas óptimas para su polímero, este margen nos da cierta libertad de trabajo y se ajusta mediante un valor en °C.
- Velocidad de ventilador: Desde este menú controlaremos la velocidad para el extrusor y el de enfriamiento de la pieza según nuestro propio criterio. El parámetro de control es en rpm con un valor que oscila de 0 a 255.
- Flow: Este parámetro establece la cantidad de plástico que fluye por la garganta de extrusión durante un tiempo determinado. Por lo tanto, indica la velocidad con la que se extruirá, en caso de tener un valor bajo se producirá una extrusión insuficiente y si es un valor alto tendremos un exceso de plástico fundido en el cabezal y la pieza. Más adelante se comentará con detalle el factor ya que me ha dado bastantes problemas.

Control

Este menú permite en términos generales la modificación de parámetros similares a los de Preparar y Ajuste, con alguna especificación más. Se puede controlar la temperatura una vez iniciado el proceso de impresión, también se pueden modificar los valores en parámetros de movimiento, en este caso hay ciertas novedades:

- Velocidad: permite un control de velocidad de los drivers para (X, Y, Z, E).
- Aceleración: permite establecer la aceleración máxima del cabezal durante los movimientos en mm/s². Una aceleración elevada implica cambios de velocidad altos

que producen vibraciones en el conjunto, no es recomendable a menos que nuestra base este reforzada o sea muy estable.

- Par: Este parámetro indica el par que deben ejercer los motores por pasos para mover el conjunto, su uso es similar al de aceleración. No he modificado este valor ni lo recomiendo a menos que se tenga una base estable, generalmente el valor por defecto suele ser suficiente.
- Pasos/mm: La configuración de este parámetro regula el número de operaciones que realizan los motores para realizar el movimiento.

Un motor por pasos se basa en que el movimiento rotatorio se produce gracias corriente pulsante a través de los 8 bobinados. Cada vez que pasa corriente por 2 de ellos, el imán central gira un cierto ángulo. Si durante el desplazamiento entre bobinados se activan los cuatro más cercanos, el rotor queda inmóvil en el medio, a esto se le llama un paso de motor.

Esto significa que cuantos más pasos tengamos, más preciso será el movimiento ya que por cada fracción de giro habrá muchas más interacciones entre el rotor y la bobina. También implica que haremos trabajar mucho más al motor y los drivers que regulan su corriente, esto significa que el sistema puede calentarse. Por eso, como se verá en el apartado de mejoras, será necesario disipar el calor de los drivers a medida que aumentemos los pasos.

Tarjeta SD

En este menú se pueden observar los archivos en formato gcode que contiene la tarjeta conectada a la placa Melzi. Si no hay tarjeta y la impresora está encendida aparecerá el submenú inicializar. Supongamos que queremos añadir un archivo a la tarjeta, una vez la volvamos a conectar se pulsará el controlador y la placa la leerá, entonces volveremos a ver todos los archivos que contiene.

4 EVALUACIÓN DE PROBLEMAS I MEJORAS

Una vez se ha completado el montaje inicial, se procede a imprimir determinados objetos de prueba y a analizar posibles defectos, así como su solución. Esta información podrá ser de utilidad para aquel que observe los mismos defectos en las piezas.

4.1 Análisis de problemas

4.1.1 Primer test de impresión

El primer objeto impreso es un cubo de prueba. Dado que Tronxy envía una muestra de PLA naranja con el paquete, se usará utilizando las especificaciones de temperatura de 210° / 40° C para el cabezal y la cama respectivamente.

Para la nivelación de la cama, ya que no se dispone por el momento de sensor de auto nivelación, se utiliza el método manual. Este consiste ejecutar el comando G28 y después regular la altura de la cama con los cierres AM3 que incorpora debajo. Para obtener la altura precisa a la que debe estar el cabezal, se interpone una hoja entre este y la cama. Se modificará la altura hasta que, al mover el cabezal, haya cierta resistencia por la fricción que causa la hoja, pero pueda haber desplazamiento, esa es la altura correcta para iniciar la impresión.

El primer intento por imprimir la pieza ha sido un fracaso. Una vez nivelada la cama y procesado el comando auto home, el cabezal ha descendido hasta unos 0,5 milímetros por debajo del nivel del centro de la superficie. En consecuencia, se ha obstruido el movimiento de los motores y no ha sido posible iniciar la impresión.

Este hecho me ha dado a entender que la cama no es totalmente plana, tiene una deformación superior a la que suponía inicialmente. Al ser una superficie de aluminio tan grande, el centro de la cama presenta una cierta concavidad.

Durante el proceso de nivelación he escogido 9 puntos, 8 en la periferia y uno en el centro. El problema es que, si la cama tiene cierto grado cóncavo, nos arriesgamos a nivelar la periferia correctamente, pero situando el centro por encima del nivel correcto. La otra alternativa implica nivelar el centro correctamente y dejar la periferia por debajo, de forma que no hace contacto con el plástico y por tanto no hay adherencia.

Este problema plantea el hecho de que el método de nivelación manual en una cama tan grande es contraproducente. Para intentar resolver la situación, me he planteado la posibilidad de incorporar una superficie más plana, como por ejemplo una placa de vidrio templado y el uso un sensor de nivelación automático.

Por el momento, debemos limitarnos a reducir el área en los puntos de nivelación hacia el centro. Esto hace que el desnivel sea inferior, pero condiciona el tamaño de impresión, así que sólo se podrán imprimir piezas con un tamaño reducido. La solución final debería ser la instalación de un sensor de nivelación.

Una vez se ha hecho este ajuste, se ha procedido con el segundo intento para imprimir el cubo de prueba. En este caso, el proceso se inicia creando la base del objeto, todo parece correcto en las primeras capas. Algo realmente notable es el ruido durante el proceso, tanto el efectuado por los movimientos del motor como por el ventilador de la fuente de alimentación. Esto puede parecer subjetivo, pero en mi caso resulta muy molesto, sobre todo si se debe imprimir piezas con un tiempo de finalización superior a 2 horas. Así que surge como planteamiento una posible mejora en los drivers y ventiladores.

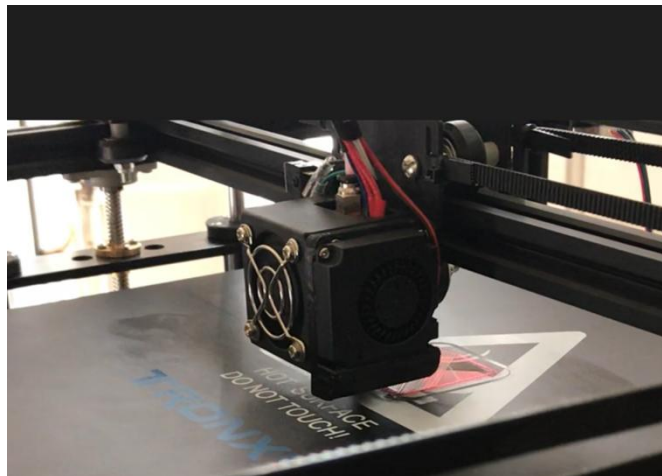


Figura 28 Primera impresión de la máquina

A medida que la impresión avanza se empieza a oír un ruido, “clac-clac-clac” de forma periódica. La frecuencia de este sonido puede variar con el tiempo. Si nos fijamos en la pieza, ahora se observa que algo no va bien, la calidad de impresión ha disminuido y se puede ver un patrón en las capas no uniforme. En consecuencia, llega un punto en que la impresión no es viable y se cancela, el filamento fundido no es capaz de adherirse a la capa inferior. Los resultados se muestran en la siguiente ilustración.

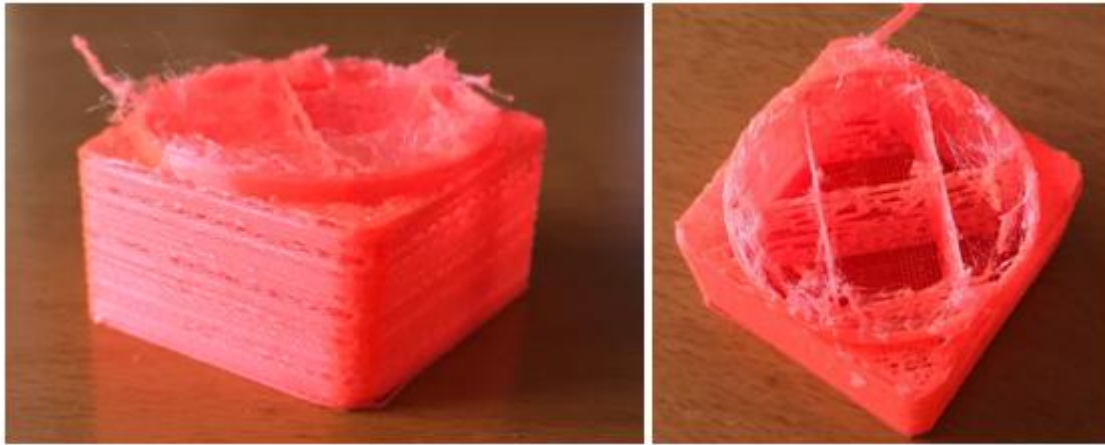


Fig. 1: Captura con el resultado de la primera impresión

Este fenómeno se ha grabado en video y subido a un canal de YouTube especialmente creado para el proyecto. A continuación, se deja el enlace donde puede observarse.

<https://youtu.be/-NMTTfBuNhQ>

A simple vista se reconoce que la densidad de filamento varia drásticamente de una capa a otra, la estructura interior es aún más discontinua que el perímetro exterior, esto causa una gran debilidad estructural en la pieza. Si se ejerce un poco de fuerza el objeto colapsará. Una vez parada la impresión se ha repetido este ejercicio varias veces, siempre con resultados similares.

Mi planteamiento inicial del problema ha sido pensar que el conjunto del cabezal y su perfil impactan durante ciertos recorridos contra el perfil base. Este pensamiento es descartado rápidamente una vez se ha observado los desplazamientos, ninguno llega a aproximarse cerca de los sensores de fin de carrera.

Analizando el resultado anterior se puede deducir que hay un déficit en el flujo de plástico por alguna razón, esto es lo que causa el efecto discontinuo. Efectivamente, al fijarnos en el motor extrusor podemos ver que no es capaz de alimentar el cabezal. El mecanismo bowden del extrusor cuenta con un motor montado debajo del pasador de hilo, en el eje del motor hay un pequeño engranaje dentado, a su lado hay un cojinete que gira libremente.

Entre el engranaje y el cojinete se encuentra el filamento de 1.75 mm, este se mueve muy poco o permanece inmóvil. El sonido característico descrito en la página anterior se debe al engranaje dentado, gira en sentido anti horario sin la suficiente fuerza como para mover el

filamento, así que cada cierto recorrido angular sufre un deslizamiento en sentido horario, este es un problema conocido como “salto de pasos”.

Ahora que conocemos que problema hay, nos centraremos en por qué se produce y como resolverlo. El hecho de no haber trabajado con una impresora 3D antes implica que, ante el surgimiento de un problema, se buscará soluciones en base a hipótesis propias e información de otros usuarios. A continuación, se detallan las suposiciones por las que puede suceder este contratiempo.

- La velocidad de impresión es muy elevada, esto no fundamenta por qué el plástico no es extruido, aun así, podría causar errores en el movimiento del cabezal y generar la discontinuidad de capas en la pieza.
- El tubo bowden puede tener alguna deformación interior, por la que crea fricción con el filamento, o la muestra de PLA es de mala calidad.
- El extrusor tiene alguna pieza defectuosa.
- La temperatura de extrusión es insuficiente para fundir el volumen de plástico entrante.

El primer paso para confirmar las hipótesis ha sido reducir la velocidad de impresión a través del LCD. Se reduce de 100 a 60mm/s, podemos observar una base más sólida y un mejor patrón de relleno. Aun así, pasado un cierto tiempo se vuelve a oír el ruido indicativo del extrusor deslizante. Al final se obtiene una pieza con una base más sólida, pero con los mismos defectos a partir de una cierta altura. Podemos concluir que la velocidad de impresión mejora la calidad, pero no es la raíz del problema.

El siguiente paso ha sido comprobar que el filamento y el tubo bowden funcionan como debería. Para ello se ha comprado un PLA de gran calidad, las especificaciones del fabricante sobre el material son:

- Temperatura del cabezal: 190°C – 220°C
- Temperatura de la Cama: 40°C
- Mantener en ambiente seco
- Mantener alejado de fuentes de calor.
- Tolerancia diametral +/- 0,03 mm

Este paquete contiene el material envasado al vacío para garantizar su conservación, además incorpora una muestra de filamento especial para la limpieza del cabezal. Esto es realmente útil en el caso de que haya una pequeña obstrucción. Para limpiar el sistema se deberá calentar el cabezal hasta la temperatura de fusión del plástico y se expulsará manualmente con la ayuda de este filamento. Como podemos ver en la imagen, la temperatura de fusión del filamento es mucho más baja que la del PLA, por lo que se pegará y ayudará a salir, los restos que queden en el cabezal saldrán fácilmente cuando se vuelva a calentar.

También se ha cambiado el tubo por otro de teflón de 1.75mm. Durante la sustitución se debe retirar el tubo de la garganta de extrusión con un simple tirón, se corta el cable de PLA y se retira. Finalmente, hemos podido entender un poco mejor el porqué del problema. Al retirar el filamento del cabezal, este presentaba cierta resistencia a ser removido. En consecuencia, se ha decidido desmontar todo el cabezal para comprobar si se ha podido obstruir.

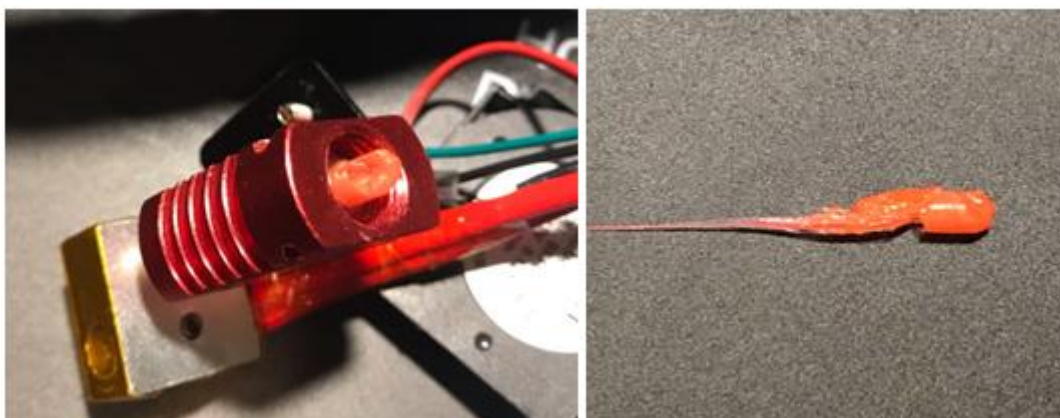


Figura 29 Origen del problema, la obstrucción del cabezal

Como se aprecia en las imágenes, el exceso de material se ha ido depositando a lo largo del tubo donde la temperatura no es tan elevada. Para retirarlo sólo hace falta usar con cuidado unos alicates. En el interior del cabezal todavía puede quedar plástico, estos restos se desechan fácilmente precalentando el sistema a 180°C y empujando manualmente con el filamento de limpieza, como se ha comentado antes.

Para cargar el nuevo filamento se debe conectar el tubo de teflón a las gargantas de extrusión y aplicar cierta presión. Se colocará la bobina en un sitio estable y se pasa el filamento por el orificio del extrusor, manteniendo la pestaña que une engranaje y rodamiento sujeta. Se empujará el filamento manualmente a través del tubo hasta notar un tope. Ahora que ya se ha ajustado el sistema vamos a probar otra vez la misma impresión.

Para poder realizar el objeto sin problemas, antes debemos calentar el sistema a 180°C y esperar un par de minutos. Se podrá observar que el cabezal deja caer un hilo transparente de plástico, estos son los restos del filamento de limpieza. Deberemos extruir entonces unos 20mm aproximadamente, hasta que el color del hilo sea el del filamento, ahora ya está todo listo para la creación de la pieza.



Figura 30 Segunda impresión y mejora de calidad

Como podemos observar, el resultado en la pieza ha cambiado drásticamente. Al empezar el proceso la velocidad por defecto es de 100mm/s, creo que esto se convierte en un problema para la impresión ya que genera vibraciones. Si nos fijamos en la imagen de la izquierda apreciaremos que la base tiene un pequeño deslizamiento respecto la capa de adherencia. Además, el hecho de trabajar a esta velocidad ha generado en las primeras capas el mismo ruido del “salto de pasos”. Por este motivo la pieza se ha dividido en dos, al haber un par de capas demasiado débiles.

Finalmente, creo que al trabajar a esta velocidad el sistema proporciona más plástico del que debería, así se forma la obstrucción. Por lo tanto, al ver que se repetía el mismo hecho, se ha ajustado los siguientes parámetros

- Velocidad: reducción de 100 a 60mm/s
- Extrusión: Reducción al 60%
- Temperatura del cabezal: 210°C

En excepción al defecto por el cual se ha partido, se cree que la calidad de la pieza ha mejorado y es el estándar al que se debería imprimir. No se aprecia una extrusión pobre ni sobrante en las capas superiores y el patrón de relleno tiene buena resistencia. El único inconveniente es que la reducción de velocidad implica un aumento de tiempo, esta pieza con un volumen de 64 cm³ ha supuesto unos 50 minutos de impresión. En impresiones posteriores,

a medida que generemos volúmenes mayores, nos interesará una mayor velocidad para no tener tiempos de trabajo exagerados.

4.1.2 El ruido

Un problema que he comentado anteriormente, aunque no tiene por qué afectar a la calidad de las impresiones, es el ruido de los ventiladores. Mientras se crea un objeto, resulta muy molesto y es difícil concentrarse si estamos leyendo o incluso escuchando música a una cierta distancia. El reducido tamaño de los ventiladores los obliga a girar muy rápido, así que se decidirá cambiar los ya existentes por otros especialmente diseñados para un desarrollo silencioso.

El tamaño del ventilador es un factor importante, no se podrá ensamblar componentes con un tamaño superior a 40x40mm sin tener que diseñar piezas para el acoplamiento. Además, no conviene cargar el cabezal con mucho peso, dado que se generaría inercias no deseadas en los movimientos. Por lo tanto, después de realizar una selección de mejores opciones, se supone que los “Noctua NF-A4x10” son ideales.

Dentro del paquete se encuentra concretamente: el ventilador unido a un cable de 3 pines, tornillos y juntas de silicona para su sujeción, un cable alargador, un cable adaptador de 3 a 2 pines para la mayoría de placas base y el cable de reducción de ruido. También incorpora un pequeño documento con instrucciones para su colocación.

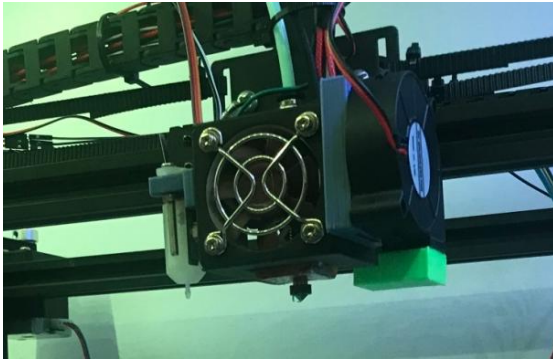
Debemos tener en cuenta que el cabezal incorpora dos ventiladores, uno para la disipación de calor en el tubo y otro exterior para la refrigeración de la pieza. El objetivo es la sustitución de ambos. Para ello se debe desmontar el sistema actual accediendo primero al ventilador lateral, el problema surge cuando se intenta quitar los tornillos que unen el ventilador a una pieza de soporte unida al cabezal.



Figura 31 Montaje del ventilador

Estos tornillos son lo suficientemente pequeños como para romperse si se ejerce un poco de fuerza. Por lo tanto, ahora se tiene que romper el ventilador y la pieza para poder acceder al cabezal.

Una vez desmontada la caja de ventilación que cubre el cabezal sólo hace falta retirar las tuercas que unen el antiguo ventilador, colocar el nuevo y volver a fijar tal y como se ve en la imagen. El cable que acompaña al Noctua A4x10 es muy corto, para poder llegar a los pines de la placa base se ha aprovechado el antiguo cable haciendo una pequeña soldadura.



Para la refrigeración de la pieza, se ha escogido otro tipo de ventilador, ya que proporciona un flujo de aire mayor. Este componente de la compañía MVPOWER puede verse en el listado de piezas usadas en el anexo. El sistema se ha montado junto a dos sencillas piezas impresas.

Figura 32 Conjunto de ventiladores, cabezal y pieza.

4.2 Mejoras

4.2.2 Placa base y protección ante el corriente

Como se ha comentado anteriormente, la placa base que viene por defecto con las demás piezas es un poco limitada. Para entender el propósito de esta mejora vamos a analizar los problemas que presenta respecto a otras placas.

“Melzi placa 2.0”

- Procesador ATmega1284P
- Drivers integrados a4988
- Capacidad para controlar un solo extrusor
- No puede incorporarse sensor de nivelación a menos que se ejecute el forzado de memoria.
- Memoria limitada, para incorporar algunas funciones se deben borrar otras.

El principal inconveniente de esta placa es que lleva integrados los drivers para el control de los motores. Esto implica que están soldados y no se pueden retirar fácilmente, en caso de que un driver se estropeará, habría que deshacer las soldaduras y soldar uno nuevo o desechar la placa. Esto puede resultar muy poco práctico y una gran molestia a la larga para el consumidor.

Adicionalmente, si se analizan los drivers A4988, estos son los más comunes del mercado. Se ha hablado antes de que los motores por pasos son regulados para trabajar a más o menos

resolución, los drivers A4988 son capaces de gestionar hasta 16 micro pasos. Otros drivers como los DRV825 o la serie TMC pueden llegar entre 32 y 256 micro pasos.

Los motores con pocos micro pasos pueden dar su par máximo de trabajo, pero sus movimientos son más bruscos y en consecuencia generan más ruido. La ventaja de aumentar los micro pasos radica en el hecho de que, aunque se pierde par, se obtienen movimientos mucho más suaves y se reduce en gran medida el ruido producido por el motor. Una de las cosas que más interesa a la hora de realizar la impresión es que su acabado tenga una gran calidad, por lo tanto, interesa poder sustituir los drivers por la serie DRV o TMC.

MKS Gen L

Esta placa base incorpora un procesador de 8 bits con una memoria flash de 256 Kb. Su estructura permite el control de los tres motores cartesianos y dos extrusores, mediante programación es posible cambiar este sistema para sustituir un extrusor por otro motor en un eje cartesiano.

Se observa otra característica y una mejora fundamental respecto a la placa Melzi, al lado de los puertos para conectar el motor se encuentran los pines para los drivers que regularán su funcionamiento. Esto permite una fácil conexión externa y nos permite retirar un driver dañado en cualquier momento. Además, se incorpora 3 pares de pines adicionales en la zona para cada driver, llamados jumper. Estos pines regulan el número de pasos por mm con el que se trabajará, para modificarlo se deberá introducir un conector, por cada conector que se introduzca doblaremos la cantidad de micro pasos.

Si nos fijamos en las conexiones que aparecen a la derecha con colores rojo, azul y verde, vemos que incorpora los puertos para los sensores de fin de carrera, aunque tiene ciertas mejoras respecto a la placa Melzi. Esto se debe a que permite no sólo conectar los sensores de posición mínima sino también los correspondientes para coordenadas máximas. Esto nos permite tener un control total sobre el rango de movimientos de la impresora.

Al lado de estos pines se encuentran los dos puertos necesarios para la conexión de un gran número de LCD. Hay que tener en cuenta que algunos LCD sólo necesitarán un puerto para su funcionamiento y puede haber controladores que tengan problemas de compatibilidad. Algunos dispositivos LCD con sólo un puerto pueden instalarse a un puerto auxiliar, en este caso al "AUX-1".

Debajo de la zona para los sensores de carrera se encuentran los pines para la conexión de servomotores, hay un total de 4x3 pines, los cuales nos permiten el uso de sensores de nivelación como el “BLtouch”¹⁸. A ambos lados de los servomotores se encuentra un total de 18 pines auxiliares que ofrecen más posibilidades para una conexión extra en caso de necesidad.

Debajo de la zona de servomotores se encuentran los puntos para la conexión de termistores, como es habitual hay uno para la cama y otro para el cabezal. Esta placa incorpora uno extra por si queremos instalar un doble cabezal.

El dispositivo no incorpora una tarjeta SD como en el caso de la placa Melzi, aun así, tiene el puerto micro USB a través del cual se podrá modificar el firmware y conectar al ordenador para realizar las impresiones.

En el lado izquierdo se pueden observar los puertos básicos para el funcionamiento de la impresora. Una función que no dispone Melzi es la posibilidad de seleccionar que tipo de fuente queremos conectar, hay la opción de 12V o 24 V, lo cual supone una cierta ventaja para calentar una cama caliente tan grande.

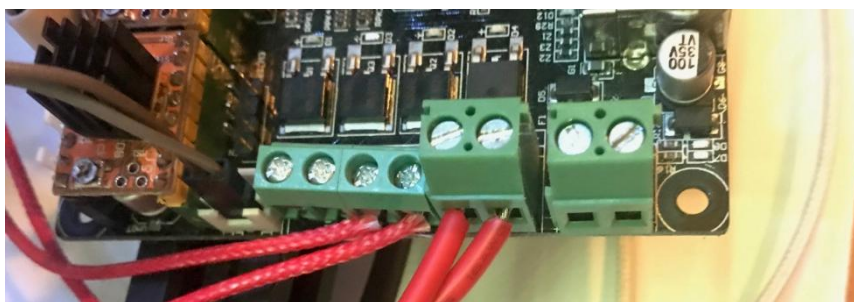


Figura 33 Montaje de derecha a izquierda indicando alimentación, cama y cabezal.

Esta placa permite incorporar el mismo número de ventiladores que en la anterior, en este proyecto se dispondrá de tres en total. Nos interesa poder controlar y ajustar la velocidad en dos de ellos, para ello se utilizará los puertos blancos que observamos en la figura 38. Estos puertos siempre trabajan a 12V. El tercer ventilador se mantendrá siempre conectado por lo que podemos instalarlo en paralelo junto a los cables de alimentación de la placa.

¹⁸ BLtouch hace referencia al modelo concreto de la marca comercial que se utiliza.

4.2.3 Sensor de nivelación

Uno de los problemas de trabajar con una cama tan grande era la nivelación manual del sistema, esto implica un proceso tedioso y a veces impreciso. Por ello se ha decidido instalar el sensor con servomotor BLtouch. Este tipo de sensores incorporan ciertas ventajas respecto a otros como los inductivos. A diferencia de estos, el sensor escogido puede actuar sobre cualquier tipo de superficie ya sea aluminio, cristal o plástico.

Para la instalación del sensor nos fijaremos en su distribución de cables. Como podemos ver en la imagen del Anexo I correspondiente el sensor, este cuenta con dos cableados. El negro y blanco corresponde a la señal que actuará como sensor de límite de carrera en Z, permitiendo al sensor detener el movimiento de los motores y conocer la distribución de alturas. El cableado amarillo, rojo, marrón corresponde al conjunto que se deberá incorporar en los pines para activar el servomotor del sensor.

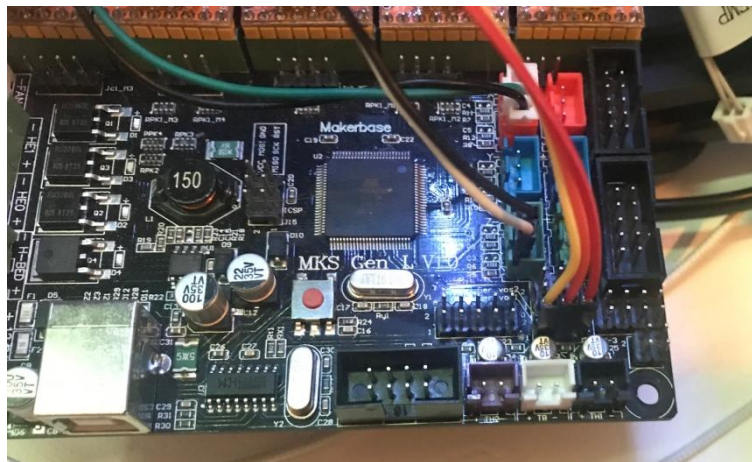


Figura 34 Montaje del sensor con los tres pines de color y el blanco/negro.

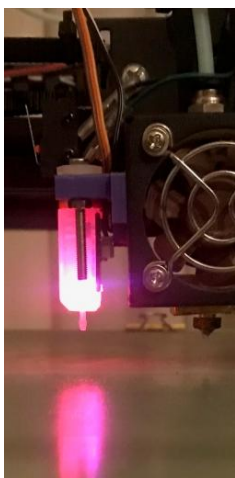


Figura 35 Sensor en funcionamiento

Debemos tener en cuenta que este sensor no funcionará por si sólo conectándolo, para ser reconocido se debe programar en el firmware su uso. En el capítulo de actualización del sistema operativo se hablará de su programación. Al incorporar el sensor y activar la corriente debería mostrarse el mismo aspecto que en la figura 40. Por defecto, el sensor emite una luz roja cuando está conectado.

Una vez se ha instalado correctamente el sensor, debería activarse al encender la impresora para efectuar un sonido de encendido. Además, debería iluminarse el led de color rojo que incorpora. En un margen de unos segundos alargará y contraerá un par de veces la punta de presión

para comprobar que el mecanismo se mueve correctamente, entonces se mantendrá en reposo hasta recibir el comando de auto nivelación.

4.2.4 Drivers TMC

Como hemos comentado antes, la posibilidad de instalar drivers externos nos brinda un catálogo de posibilidades en función de la instalación y características que se quieran obtener del sistema. La máquina que se pretende obtener al finalizar este proyecto tiene como principales objetivos:

- Precisión en unos movimientos que no generen vibraciones excesivas del sistema.
- Reducción de ruido respecto a los drivers de stock.

Con este objetivo en mente, se llega a la conclusión que la mejor solución son los drivers de la familia TMC¹⁹.

Entre los drivers que incorpora esta marca se encuentran los TMC2100, TMC2208, TMC 2130. Finalmente se ha escogido la utilización del driver TMC2208 para este proyecto. Una de las principales características son sus opciones de instalación. Concretamente hay dos formas

- Conexionado estándar
- Conexionado mediante tecnología UART.

La conexión estándar sólo requiere instalar el driver presionando los pines contra el puerto de la placa base y definir en el firmware el tipo de driver que estamos usando. No se requiere modificaciones físicas sobre el componente por lo que resulta un método, rápido y cómodo. Cuando se ajusta el componente de esta forma se dicen que trabaja en modo “legacy”, de esta forma se obtiene una gran mejora respecto a los anteriores drivers, aunque no se puede ejercer un control completo como en el conexionado UART.

Dado que para este proyecto se trabajará con los drivers en modo legacy, no se detallará su instalación para el conexionado UART. Debe mencionarse que la principal ventaja de esta instalación respecto al modo legacy es su completo control a través de la placa base, esto

¹⁹ Estas siglas hacen referencia a “*Trinamic Motion Control*” en inglés, representa el modelo de driver.

implica una mayor personalización y el hecho de poder escoger cuando se quiere un mayor par y cuando un modo totalmente silencioso. Este tipo de conexión requiere la soldadura en el circuito integrado y una modificación en los pines, por ello resulta un proceso más complicado.

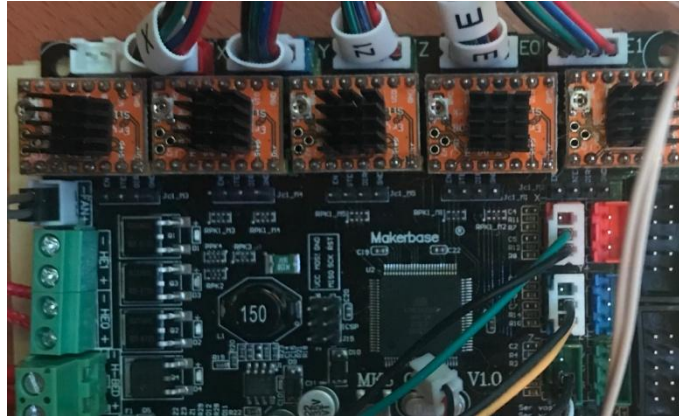


Figura 36 Conexión de los drivers y sus disipadores en la placa

Estos drivers tienen un punto negativo y es la generación de calor. Como puede verse en la imagen, se requiere el uso de unos disipadores y la correcta ventilación del sistema. El pedido siempre incorpora los drivers y disipadores. Para su colocación sólo es necesario retirar el papel protector de la base y pegarlo al cuerpo del driver, debemos tener en cuenta que el disipador no puede estar en contacto con ningún pin. Una vez colocados los drivers sobre la placa base se deberá comprobar la tensión que soportará cada uno, esto es importante ya que se puede ajustar un valor de hasta 36V según el uso que se requiera. Para la determinación de estos valores se puede usar el cálculo básico:

$$I_{pico} = V_{ref}$$

$$I_{RMS} = \frac{1}{\sqrt{2}} \cdot I_{pico}$$

Ecuación 1 Intensidad para los motores

La máxima corriente permitida para los motores NEMA17 son 1.25 amperios. Aun así, no hace falta trabajar en el límite de corriente para que los motores hagan su función. Varios usuarios determinan que se puede trabajar en un entorno de corriente 0,5 y 0,8 amperios, dependiendo del tipo de impresora. Después de consultar que valores se ajustan para el sistema Core XY y de comprobar mediante su uso, se ha decidido que los valores usados en este proyecto son:

	V referencia	I RMS
Motor X	0,9	0,64
Motor Y	0,9	0,64
Motor Z	1,2	0,85
Extrusor	1,1	0,78

Tabla 1:Valores de tensión y corriente indicados para el montaje

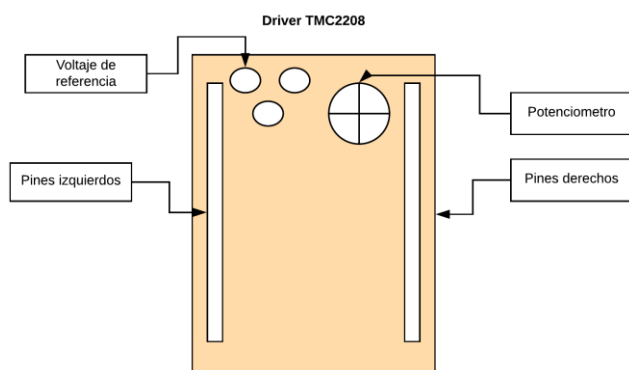


Figura 37 Diagrama del esquema eléctrico en el TMC realizado mediante Lucid Chart

Ahora que se ha determinado el valor necesario para su uso, se procede a ajustar los valores. Para ello se debe acceder al potenciómetro que incorpora cada driver. Se puede regular fácilmente girando la rueda que lo compone mediante un destornillador.

A continuación, puede verse una imagen con la comprobación de corriente mediante un voltímetro. Para hacer este test simplemente debe colocarse la punta de tensión en el orificio del voltaje de referencia, indicado en el diagrama superior, y el terminal negro en un punto de potencial 0 como por ejemplo la parte metálica del puerto USB.



Figura 38 Ajuste de voltaje en motores XY en Izquierda y E en derecha

4.2.5 Actualización del firmware a Marlin 1.1.9

Una vez se ha hecho el montaje de la impresora con la nueva placa base, necesitamos implementar el software que controlará todos los aspectos de la máquina. En este caso, el firmware necesario se llama Marlin. Como se ha comentado anteriormente, es un conjunto de instrucciones basadas en código C, y Arduino.

Una de las características principales se basa en que es un firmware abierto, es decir, todos tenemos acceso a él y se puede modificar según las especificaciones que requiera nuestra máquina. Marlin dispone de una web oficial desde donde se puede descargar la última versión disponible, también dispone de documentación relativa a su programación.

Hay un gran número de foros con usuarios que modifican estas instrucciones para ajustar el programa a su preferencia. Se recomienda no descargar el firmware de estos sitios ya que puede haber incompatibilidades con la máquina. En este proyecto se describirá exactamente las condiciones usadas para ajustar el firmware a la máquina, por lo tanto, este programa será válido para ese modelo de impresora y no se recomienda su uso en otros modelos sin un previo ajuste de ciertos parámetros. Para poder modificar el código se necesitará la instalación del programa compilador, este programa se llama Arduino y puede obtenerse también desde el apartado descargas de la página web oficial.

El archivo descargado del código está en formato Zip, una vez descomprimido podemos acceder a la carpeta con el valor del firmware usado, en este caso Marlin 1.1.9. Dentro de la carpeta se accederá a otra llamada Marlin, en esta carpeta se encuentran todos los archivos de configuración para la impresora, debemos pinchar en el archivo seleccionado y se abrirá el ejecutable en Arduino.

Nombre	Fecha de modifica...	Tipo	Tamaño
leds.cpp	03/04/2019 22:12	Archivo CPP	4 KB
leds.h	03/04/2019 22:12	Archivo H	5 KB
M100_Free_Mem_Chk.cpp	03/04/2019 22:12	Archivo CPP	11 KB
macros.h	03/04/2019 22:12	Archivo H	8 KB
Makefile	03/04/2019 22:12	Archivo	22 KB
marlinlcd.cpp	03/04/2019 22:12	Archivo CPP	15 KB
Marlin.h	03/04/2019 22:12	Archivo H	23 KB
Marlin.ino	03/04/2019 22:12	Arduino file	2 KB
Marlin_main.cpp	03/04/2019 22:12	Archivo CPP	505 KB
MarlinConfig.h	03/04/2019 22:12	Archivo H	2 KB
MarlinSerial.cpp	03/04/2019 22:12	Archivo CPP	25 KB

Figura 39 Archivo ejecutable para la programación del sistema

Al abrir este archivo en Arduino podemos observar muchas carpetas con diversas instrucciones en C++. Estas carpetas incluyen las funciones necesarias para interactuar con los componentes electrónicos, así como sensores, tipo de placa base o pantalla LCD. También incorpora funciones que describen el tipo de interfaz, así como el lenguaje, esto permite cambiar por ejemplo los mensajes que aparecerán en pantalla una vez ejecutemos una acción determinada. Aunque esto aporta un gran nivel de personalización no supone algo

fundamental para el montaje, por lo tanto, de momento sólo nos interesará modificar una carpeta para el correcto funcionamiento de la máquina. Esta carpeta tiene el nombre de “configuration.h”.

Esta carpeta contiene las funciones para los ajustes de funcionamiento básico de la máquina. Concretamente se divide en la descripción de

- Tipo de electrónica
- Tipo de sensores de temperatura
- Geometría de la impresora
- Configuración de los sensores de límite de carrera
- Controlador LCD
- Ajustes extra

Las funciones pueden aparecer junto al símbolo //. Esto significa que las instrucciones están escritas como comentarios y no como funciones, por lo tanto, una vez se compile²⁰ el programa no se contara con ellas. Para activarlas simplemente se debe eliminar el símbolo. A continuación, se describe el uso y significado de algunas funciones importantes.

#define SERIAL_PORT 0

- Esta función establece el puerto de conexión entre la placa y el ordenador, hay 8 puertos disponibles con numeración (0, 1, ..., 7). Su función permite una conexión sin cables, mediante un adaptador sin cables. Dado que en nuestro caso se realiza una conexión por USB, se dejará el valor de referencia PORT 0.

#define BAUDRATE 250000

- Los baudios hacen referencia al número de unidades de transmisión por segundo. Un baudio se establece como la unidad de información que puede contener varios bits. Por lo tanto, esta función determina la velocidad de comunicación entre la placa base y un controlador, ordenador o LCD.

²⁰ Compilar un código es el proceso por el cual el programa analiza las variaciones producidas en este y permite la carga del código a la placa base, siempre que no haya errores.

Su rango de transmisión puede modificarse hasta llegar al millón de unidades, pero esto puede generar incompatibilidad con el LCD, mostrando la pantalla en negro. La mayoría de controladores LCD aceptan un valor entre 115200 y 250000 según el modelo. En este caso, debido al uso de un MKS TFT 28' se establecerá un valor de 250000.

```
// #Define BLUETOOTH
```

- El proyecto no contará con este tipo de conexión y por eso se deja la función como comentario, para poder usar esta característica se debe activar la función y usar un driver de tipo AT90USB en la placa base.

```
#ifdef MOTHERBOARD
```

```
#define MOTHERBOARD BOARD_MKS_GEN_L
```

```
#endif
```

- Estas tres líneas de comando definen el modelo de placa base usada para la impresora. En este caso, la definición es el que se puede observar para la placa MKS. Es muy importante tener presente que placa se usa ya que, el modelo de placa base viene asociado a los pines que reconocerá el programa para cada componente electrónico. En este caso los pines vienen definidos en la carpeta "pins_MKS_GEN_L", la representación de cada pin se muestra a continuación.

```
#define BOARD_MELZI_TRONXY
```

- En caso de que se hubiera preferido seguir con la placa de fábrica, esta sería la línea correspondiente de código. Para conocer que definición se debe utilizar en una placa concreta, debemos consultar la carpeta boards.h dentro del programa.

-

```
#define CUSTOM_MACHINE_NAME "Impresora 3D Miquel"
```

- La función custom_machine_name muestra un mensaje personalizado en la pantalla de carga cada vez que se encienda la impresora, el mensaje personalizado debe escribirse entre signos "".

Como se ha comentado antes, el código es extenso y permite una gran personalización. A continuación, sólo se mostrará las definiciones para el correcto funcionamiento de la máquina

según los estándares de este proyecto. El resto de código puede modificarse o no a discreción del usuario.

Sección extrusora

```
#define EXTRUDERS 1
```

- Hace referencia al número de extrusores con los que contará la impresora. Marlin permite la implementación de hasta 5 extrusores, para este proyecto sólo se usa uno así que esta es la correcta definición.

```
#define DEFAULT_NOMINAL_FILAMENT_DIA 1.75
```

- Esta línea indica a la placa el tipo de filamento que usamos según su sección, esto implicará diferentes cálculos para proporcionar un suficiente volumen de plástico fundido. Los filamentos disponibles tienen diámetros nominales de (1.75, 2.85 o 3.0) milímetros.

Sección máquina

```
#define POWER_SUPPLY 0
```

- Algunas fuentes de alimentación permiten un apagado inteligente, es decir, se puede programar para que una vez acabada la impresión se corte la corriente. Por defecto, si no se realiza un cambio en la fuente de alimentación, se dejará este valor en 0.

Sección temperatura

```
#define TEMP_SENSOR_0 5
```

```
#define TEMP_SENSOR_1 0
```

```
#define TEMP_SENSOR_2 0
```

```
#define TEMP_SENSOR_3 0
```

```
#define TEMP_SENSOR_4 0
```

- Estas cinco líneas corresponden al tipo de sensor que se usa para detectar la temperatura extrusores. Como se puede observar, cada línea cuenta con dos números, el primero implica el número de extrusor y el segundo el tipo de sensor definido. Dado que sólo se tiene un extrusor, modificaremos la primera línea y se dejarán las otras cuatro con valor 0.

```
#define TEMP_SENSOR_BED 5
```

- Indica el tipo de sensor para la cama caliente, en este caso se ha definido el mismo tipo de sensor que el extrusor.

`#define TEMP_SENSOR_CHAMBER 0`

- Hay proyectos en los que se recomienda encerrar la impresora dentro de un pequeño recinto para gestionar mejor la temperatura y evitar pérdidas. Para controlar la temperatura se puede poner un sensor en el chasis de la impresora. Este código reconocerá un sensor externo al extrusor o la cama, su valor por defecto si no se incorpora nada es 0.

La siguiente imagen muestra una tabla con el código numérico correspondiente a un grupo de sensores. No se conoce exactamente qué tipo de sensor tiene el extrusor o la cama, pero podemos hacernos una idea ya que la mayoría de fabricantes para impresoras 3D usa termistores con una resistencia de 100K.

Marlin	Conditionals.h	Conditionals_LCD.h	Conditionals_post.h	Configuration.h	Configuration_adv.h	G26_Mes
<pre> * * Temperature sensors available: * * -4 : thermocouple with AD8495 * -3 : thermocouple with MAX31855 (only for sensor 0) * -2 : thermocouple with MAX6675 (only for sensor 0) * -1 : thermocouple with AD595 * 0 : not used * 1 : 100k thermistor - best choice for EPCOS 100k (4.7k pullup) * 2 : 200k thermistor - ATC Semitec 204GT-2 (4.7k pullup) * 3 : Mendel-parts thermistor (4.7k pullup) * 4 : 10k thermistor !! do not use it for a hotend. It gives bad resolution at high temp. !! * 5 : 100K thermistor - ATC Semitec 104GT-2/104NT-4-R025H42G (Used in ParCan & J-Head) (4.7k pullup) * 501 : 100K Zonestar (Tronxy X3A) Thermistor * 6 : 100k EPCOS - Not as accurate as table 1 (created using a fluke thermocouple) (4.7k pullup) * 7 : 100k Honeywell thermistor 135-104LAG-J01 (4.7k pullup) * 71 : 100k Honeywell thermistor 135-104LAF-J01 (4.7k pullup) * 8 : 100k 0603 SMD Vishay NTCS0603E3104FXT (4.7k pullup) * 9 : 100k GE Sensing AL03006-58.2K-97-G1 (4.7k pullup) * 10 : 100k RS thermistor 198-961 (4.7k pullup) * 11 : 100k beta 3950 1% thermistor (4.7k pullup) * 12 : 100k 0603 SMD Vishay NTCS0603E3104FXT (4.7k pullup) (calibrated for Makibox hot bed) * 13 : 100k Hisens 3950 1% up to 300°C for hotend "Simple ONE " & "Hotend "All In ONE" * 15 : 100k thermistor calibration for JGAurora A5 hotend * 20 : the PT100 circuit found in the Ultimainboard V2.x * 60 : 100k Maker's Tool Works Kapton Bed Thermistor beta=3950 * 66 : 4.7M High Temperature thermistor from Dyze Design * 70 : the 100K thermistor found in the bq Hephestos 2 * 75 : 100k Generic Silicon Heat Pad with NTC 100K MGB18-104F39050L32 thermistor * * 1k ohm pullup tables - This is atypical, and requires changing out the 4.7k pullup for 1k. * (but gives greater accuracy and more stable PID) * 51 : 100k thermistor - EPCOS (1k pullup) * 52 : 200k thermistor - ATC Semitec 204GT-2 (1k pullup) * 55 : 100k thermistor - ATC Semitec 104GT-2 (Used in ParCan & J-Head) (1k pullup) * * 1047 : Pt1000 with 4k7 pullup * 1010 : Pt1000 with 1k pullup (non standard) * 147 : Pt100 with 4k7 pullup * 110 : Pt100 with 1k pullup (non standard) * * Use these for Testing or Development purposes. NEVER for production machine. * 998 : Dummy Table that ALWAYS reads 25°C or the temperature defined below. * 999 : Dummy Table that ALWAYS reads 100°C or the temperature defined below. </pre>						

Figura 40 Captura del código de termistores según uso dentro del programa

Como podemos ver, se ha seleccionado el 5 para el extrusor y la cama, es decir, un termistor 100k de la serie “ATC semitec”²¹. La comprobación de su correcto funcionamiento se ha realizado mediante el sensor de temperatura que incorpora el multímetro “Xindar DB2000”²². Los valores parecen precisos así que no se realizarán cambios en el código.

Cuando se da una orden para calentar el extrusor o la cama debe haber un control de la temperatura. Si se establece por ejemplo 200 °C para el extrusor, puede haber oscilaciones a lo largo del tiempo, pero estas oscilaciones no pueden superar un cierto límite.

`#define TEMP_WINDOW 1`

- Esta línea indica la diferencia de temperatura a la que se puede empezar a controlar respecto al valor de referencia.

`#define TEMP_HYSTERESIS 3`

- La función define la diferencia máxima o amplitud en +/- °C que puede haber para considerarse que la temperatura es cercana al valor establecido.

`#define TEMP_RESIDENCY_TIME 10`

- corresponde al tiempo necesario para indicar que la temperatura ha llegado al valor requerido.

Las tres funciones descritas arriba se repiten para poder controlar independientemente la cama del extrusor. En este proyecto se optará por los mismos valores.

`#define HEATER_0_MINTEMP 5`

`#define BED_MINTEMP 5`

`#define HEATER_0_MAXTEMP 275`

`#define BED_MAXTEMP 150`

- Estas funciones nos permiten definir las temperaturas mínimas y máximas de trabajo para la cama y cabezal. El límite mínimo establecido en 5° C, sirve para comprobar que el cable del termistor no se ha roto, lo que implicaría que la fuente proporcionaría calor siempre. La temperatura máxima para la protección del cabezal y la cama se

²¹ Modelo comercial del tipo de sensor de calor.

²² Modelo del multímetro de la marca comercial Xindar.

establece en 275° C i 150° C respectivamente. Como se ha comentado antes, si la máquina tuviera varios extrusores se debería añadir líneas con el consiguiente número: HEATER_1, ..., HEATER_4.

Sección PID

Para calentar la cama y el cabezal se proporciona corriente desde la fuente de alimentación. Si la fuente se mantiene activa de forma constante la temperatura no dejara de ascender, por lo que se necesita un sistema electrónico que regule el calor entorno a un valor de referencia. Para ello se necesita un controlador proporcional, integral, derivativo. A continuación, se definirán los valores en el ajuste de esta impresora.

```
#define PIDTEMP
```

```
#define BANG_MAX 255
```

```
#define PID_MAX BANG_MAX
```

```
#define PID_K1 0.95
```

- Marlin ofrece la posibilidad de escoger el control PID puro en el que se envía pulsos eléctricos a las resistencias, o un control “bang-bang”²³ que implica períodos de calentamiento y enfriamiento más largos. El valor 255 corresponde a un parámetro adimensional que se equipara a la máxima corriente transmitida. K1 es un parámetro para el suavizado de la curva de temperatura.

```
#if ENABLED(PIDTEMP)
```

```
#define PID_AUTOTUNE_MENU
```

- Esta función permite a programas externos ejecutar una rutina para calcular el valor de las variables de nuestro PID.

```
#define PID_FUNCTIONAL_RANGE 10
```

- Marlin incorpora otra medida electrónica de seguridad. Permite ejecutar esta rutina, que suspende el control PID y establece la temperatura a un valor mínimo si la diferencia entre la temperatura actual y el comando supera en este caso los 10° C.

Es posible trabajar con los valores de PID aptos para otras impresoras, siempre esto se traduzca en un control de temperatura preciso. A continuación, se puede ver el conjunto de

²³ Nombre que recibe en el código el método de control para la temperatura descrito.

parámetros PID para una impresora genérica Ultimaker²⁴. El proceso de calentamiento para nuestro cabezal sigue unos parámetros similares, por lo que no hace falta modificar nada.

```
// Ultimaker
#define DEFAULT_Kp 22.2
#define DEFAULT_Ki 1.08
#define DEFAULT_Kd 114
#endif
```

En el control de temperatura de la cama, los valores predefinidos no permiten el correcto calentamiento. Así que, se describirá a continuación cómo realizar un ajuste automático del PID. Para establecer los valores K se conectará la impresora a Pronterface²⁵ y se ejecutará el comando M303 S50 C10, este comando gestiona varios periodos de calentamiento y calcula un algoritmo que permite obtener los parámetros.

```
#define PIDTEMPBED
#define MAX_BED_POWER 255
#if ENABLED(PIDTEMPBED)
#define DEFAULT_bedKp 1217.48
#define DEFAULT_bedKi 235.90
#define DEFAULT_bedKd 1570.85
#endif
```

- Valores para un PID de la cama caliente correspondientes a 50º C.

```
#define PREVENT_COLD_EXTRUSION
#define EXTRUDE_MINTEMP 170
```

- La definición de esta función evita una extrusión en frío, es decir, el motor no ejecutará la orden de extrusión por debajo de una temperatura límite. En este proyecto el límite se define en 170º C.

```
#define PREVENT_LENGTHY_EXTRUDE
#define EXTRUDE_MAXLENGTH 600
```

²⁴ Nombre comercial para un modelo de la impresora.

²⁵ Pronterface es un programa que permite la ejecución de parámetros y modificaciones en la programación sin abrir Arduino.

Estas funciones sirven como medida de protección a la hora de cargar filamento, evitará que el motor proporcione una longitud de filamento superior al valor indicado. Para las impresoras con extrusor Bowden se ha de tener en cuenta la longitud del tubo en la carga de filamento, en este caso se establece un límite de 60 centímetros.

Sección maquina

```
#define COREXY
//#define COREXZ
//#define COREYZ
//#define COREYX
//#define COREZX
//#define COREZY
```

- Estos define indican que tipo de movimiento mecánico tiene la máquina. En los modelos Prusa i3 se produce el movimiento del cabezal mediante motores en ejes X y Z. En nuestro modelo Tronxy X5s estos motores se encuentran en ejes X i Y, por ello nuestro sistema de coordenadas es un COREXY. Lo único que se debe hacer es quitar los símbolos de comentario para esta línea.

Sección “Homing”

```
#define USE_XMIN_PLUG
#define USE_YMIN_PLUG
#define USE_ZMIN_PLUG
//#define USE_XMAX_PLUG
//#define USE_YMAX_PLUG
//#define USE_ZMAX_PLUG
```

- Esta función permite a la maquina situar las coordenadas (0,0,0) como se ha comentado antes. Para ello se necesita definir en Marlin los sensores de posición. En este caso, sólo se dispone de sensores para coordenadas X, Y, Z_{min} por lo que se dejará sin comentar las tres primeras líneas.

```
#define X_MIN_ENDSTOP_INVERTING true
#define Y_MIN_ENDSTOP_INVERTING true
#define Z_MIN_ENDSTOP_INVERTING false
#define Z_MIN_PROBE_ENDSTOP_INVERTING true
```

- Este código permite el correcto funcionamiento de los sensores de carrera, como podemos observar hay dos estados básicos para un sensor de carrera mecánico: “true” y “false”. El valor true indicará a la placa que el sensor recibe un voltaje de 5V y por tanto se encuentra en estado de carrera. Cuando el mecanismo active el interruptor al impactar contra un límite, su valor pasará a false por lo que la señal se convertirá a 0V, (tierra), y el cabezal dejará de moverse.
- Debido a que se monta un sensor de nivelación en Z, el cual puede actuar como sensor de carrera, se dejará el valor para el sensor de fábrica como false. La última línea corresponde a la función para el BLtouch que tendrá también un valor referencia en true.

Drivers motor

La configuración de los motores por pasos en Marlin permite a la placa base reconocer los drivers. De esta forma, podemos definir los pasos/mm y modificar la configuración básica.

```
#define X_DRIVER_TYPE TMC2208_STANDALONE
#define Y_DRIVER_TYPE TMC2208_STANDALONE
#define Z_DRIVER_TYPE TMC2208_STANDALONE
#define E0_DRIVER_TYPE TMC2208_STANDALONE
#define E1_DRIVER_TYPE TMC2208_STANDALONE
```

- El proyecto cuenta con drivers TMC2208 para todos los motores, por lo tanto, se deberá incorporar el nombre indicado después de DRIVER_TYPE. El complemento “STANDALONE” indica que el funcionamiento del driver es en modo “legacy”, es decir, la configuración básica que no requiere soldadura en los pin. En caso de incorporar otro tipo de drivers se debería buscar el nombre de definición en la lista que aparece dentro del programa. Si no se agregan drivers externos, el programa cargará por defecto los A4988, por lo que su definición aparecerá como:

```
#define X_DRIVER_TYPE A4988
```

Para poder compilar correctamente el programa se deberá incorporar la librería para los drivers TMC. Marlin incorpora un gestor de librerías que permite su instalación y actualización, accederemos a él tal y como indica la siguiente imagen.

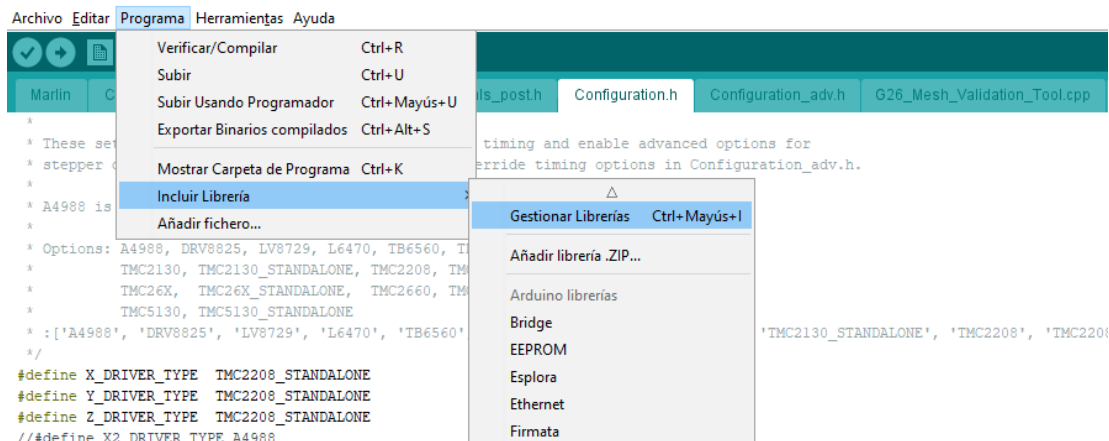


Figura 41 Captura para la gestión de librerías en Arduino

Dentro del gestor se deberá buscar el nombre del driver TMC2208 e instalar la librería dentro del programa.

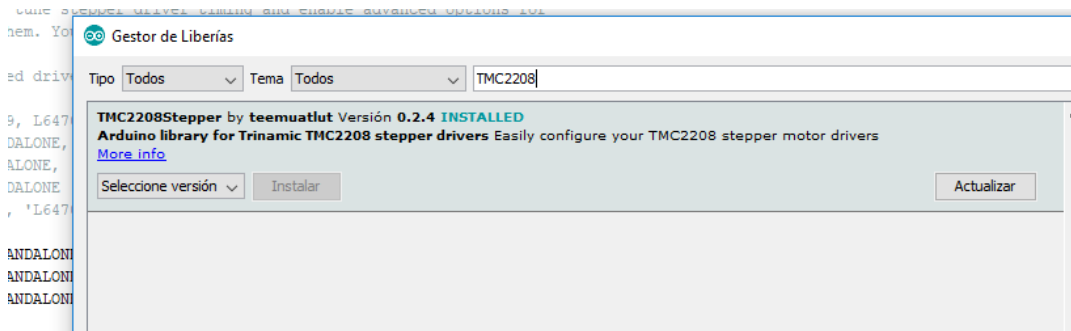


Figura 42 Instalación y actualización para la librería del TMC 2208

Sección movimiento

Los valores que se exponen a continuación definen la velocidad, aceleración y precisión de los motores al realizar movimientos. Estos valores son guardados en la “EEPROM”²⁶ y pueden ser modificados más adelante mediante comandos gcode²⁷, a través de programas como Pronterface.

```
#defines DEFAULT_AXIS_STEPS_PER_UNIT {80, 80, 400, 90}
```

- Permite definir el número de pasos de cada motor (X, Y, Z, E) por milímetro. Se modificará estos valores a través del Gcode M92.

²⁶ Estas siglas corresponden a la memoria utilizada para guardar los parámetros básicos, se da más información en la página 67.

²⁷ Son los comandos que permiten el funcionamiento básico de la máquina, se definen concretamente en el Anexo.


```
#define DEFAULT_MAX_FEEDRATE {200, 200, 4, 100}
```

- Establece la velocidad máxima que proporcionarán los motores en mm/s a (X, Y, Z, E). Podrá modificarse mediante el comando M503.

```
#define DEFAULT_MAX_ACCELERATION {1500, 1500, 1500, 1500}
```

- Indica la aceleración máxima que soportarán los motores, debemos tener en cuenta que los motores deben someterse a distintos tipos de aceleración según la función que deban realizar en un determinado instante.

Aceleraciones

Los motores que generan el desplazamiento del cabezal pueden trabajar con dos tipos de aceleraciones.

- Durante impresión: corresponde a la aceleración durante los cambios de dirección en movimientos de impresión, es decir, cuando el cabezal proporciona material fundido. En marlín se define como "aceleración".
- Durante el movimiento: hay movimientos en los que la impresora no proporciona plástico, entonces, puede soportar movimientos más rápidos sin que la calidad de la impresión se vea afectada. En marlín se define como "aceleración de desplazamiento".
- Mientras la impresora alterna entre estos dos movimientos, el extrusor deja de proporcionar plástico mediante la aceleración de retracción. Esta aceleración se produce en sentido inverso al normal y es fundamental calibrar un valor correcto para evitar problemas de exceso de material fundido.

Ahora que se tiene claro estos conceptos, se dará los valores de aceleración para

```
#define DEFAULT_ACCELERATION 1000
```

```
#define DEFAULT_RETRACT_ACCELERATION 3000
```

```
#define DEFAULT_TRAVEL_ACCELERATION 2500
```

El valor de aceleración por defecto son 1500 pero se ha decidido bajar a 1000 para reducir las vibraciones durante la impresión. Esto puede mejorar la calidad general de la pieza si observamos irregularidad en las líneas o ángulos incorrectos. El valor para la retracción debe ser lo suficientemente elevado como para que el plástico no entre en contacto con nada

durante las impresiones, en especial si se trabaja con velocidades altas, por lo que se ha decidido definir el valor 3000.

Como se ha comentado antes, los desplazamientos sin impresión pueden ser más rápidos que los normales, así que se ha decidido dejar el valor 2500. Todos estos valores pueden ser modificados desde la EEPROM aplicando el comando M204.

```
#define DEFAULT_XJERK      10.0
#define DEFAULT_YJERK      10.0
#define DEFAULT_ZJERK       0.4
#define DEFAULT_EJERK       5.0
```

- Estas funciones determinan el empuje que deben realizar los motores para que el cabezal deje la condición estacionaria y se mueva. Su valor se mide en mm/s y no debería sobrepasar los valores indicados arriba sin una base muy estable. Debemos tener en cuenta que a valores más altos se realizaran movimientos más bruscos, un par superior podría dar problemas de extrusión o movimientos poco precisos.

Sección del sensor en Z

Aquí se configurará el tipo de sensor usado para este proyecto, así como su comportamiento durante la nivelación.

```
#define Z_MIN_PROBE_USES_Z_MIN_ENDSTOP_PIN
```

- Esta definición indica a la placa base que, el sensor de nivelación usado está conectado al pin para el sensor de final de carrera en Z. Por tanto, en este caso el BLtouch sustituirá al sensor convencional en Z y se podrá desmontar este componente de la base.

```
#define BLTOUCH
```

```
#if ENABLED(BLTOUCH)
```

```
  #define BLTOUCH_DELAY 375
```

```
#endif
```

Este comando indica el tipo de sensor utilizado y un parámetro para aplicar un pequeño retardo en milisegundos. Cada vez que el sensor de mueve de posición pasa un tiempo hasta que activa la función de medición.

```
#define X_PROBE_OFFSET_FROM_EXTRUDER -36
```

```
#define Y_PROBE_OFFSET_FROM_EXTRUDER -14
```

```
#define Z_PROBE_OFFSET_FROM_EXTRUDER +2.5
```

Estas líneas indican a la placa base la situación del sensor respecto a la punta del cabezal. Los valores aparecen en milímetros, el valor negativo en X e Y

implica que el sensor esta en el lado izquierdo y al frente respecto el cabezal. En el caso de Z, el valor positivo indica que el sensor está por encima.

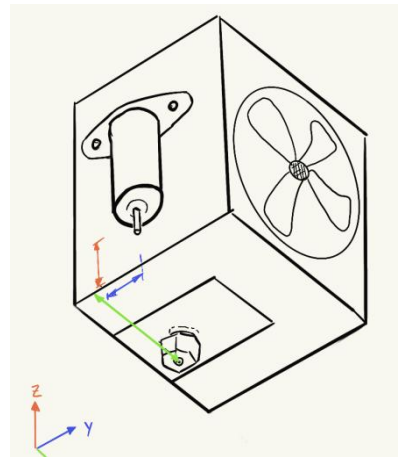


Figura 43 Posición del sensor respecto el cabezal

```
#define MIN_PROBE_EDGE 10
```

- Algunos sensores deben guardar una distancia de seguridad respecto los bordes de la cama. Para proteger la punta de presión se ha decidido introducir una distancia de 10 milímetros respecto cada vértice.

```
#define XY_PROBE_SPEED 10000
```

- Esta función configura la velocidad a la que se moverá el cabezal entre los puntos de medición. Se ha decidido introducir una velocidad de 10000 mm/min para agilizar el proceso de nivelación.

```
#define Z_PROBE_LOW_POINT -2
```

- El sensor detecta la altura respecto el cabezal mediante una punta retráctil, que detecta la presión ejercida al ascender la cama. Con esta función se establece la distancia máxima que se puede retraer la punta antes de activar el sensor como límite de carrera. Debido a que el sensor se encuentra 5 milímetros por encima del cabezal, se define una distancia de dos milímetros para evitar que el conjunto toque la cama.

```
#define Z_PROBE_OFFSET_RANGE_MIN -20
```

```
#define Z_PROBE_OFFSET_RANGE_MAX 20
```

- Una vez se ha realizado el auto home por primera vez, se deberá terminar de ajustar la altura mediante otro comando con Gcode M851. Este proceso se indica en el siguiente capítulo.

```
#define DISABLE_X false
#define DISABLE_Y false
#define DISABLE_Z false
#define DISABLE_E false
#define DISABLE_INACTIVE_EXTRUDER true
```

- Marlin permite inhabilitar los motores cuando no están realizando un movimiento para evitar posibles sobrecalentamientos, normalmente hay un período de inactividad de un minuto para la desconexión. Aunque si se deja esta opción activada, es posible perder precisión una vez el movimiento se reanude. Por lo tanto, esta opción queda desactivada excepto en el extrusor.

```
#define INVERT_X_DIR false
#define INVERT_Y_DIR false
#define INVERT_Z_DIR true
#define INVERT_E0_DIR true
#define INVERT_E1_DIR false
```

- Estas líneas definen la lógica de dirección de los motores. La lógica por defecto daba sentidos opuestos de movimiento, por lo que se ha modificado el valor a “false” para obtener movimientos positivos en el plano XY. Para que la cama tenga un movimiento sincronizado en el eje Z, se ha tenido que dar valores opuestos a E1 y Z. El extrusor E0 proporciona plástico al extrusor mediante la lógica true.

```
#define X_HOME_DIR -1
#define Y_HOME_DIR -1
#define Z_HOME_DIR -1
```

- Indica al cabezal la dirección lógica que debe seguir para activar los sensores de límite de Carrera. En este caso, se ha establecido -1 como posición de referencia mínima y 1 como máxima. Es importante definir el valor correctamente ya que, al dar una lógica incorrecta, los motores moverán el cabezal en dirección opuesta hasta impactar con una superficie y se deberá forzar el apagado de la máquina.

```
#define X_BED_SIZE 330
#define Y_BED_SIZE 330
```

```
#define X_MIN_POS 0
#define Y_MIN_POS 0
#define Z_MIN_POS 0
#define X_MAX_POS X_BED_SIZE
#define Y_MAX_POS Y_BED_SIZE
#define Z_MAX_POS 400
```

- Estas líneas permiten la personalización para el tamaño de la cama caliente. Las medidas para la Tronxy X5s en el plano XY son 330x330 milímetros, la altura en Z se delimita en 400 milímetros. La posición de referencia mínima en este caso, será la que active los sensores de límite de carrera.

Sección de calibración para nivelación en Z

```
//#define AUTO_BED_LEVELING_3POINT
//#define AUTO_BED_LEVELING_LINEAR
#define AUTO_BED_LEVELING_BILINEAR
//#define AUTO_BED_LEVELING_UBL
//#define MESH_BED_LEVELING
```

- Marlin ofrece diversas configuraciones para realizar el comando de auto nivelación, en este proyecto se contará con la opción “Bilineal”, por lo que se deberá quitar los símbolos sólo en esa línea. Esta opción permite establecer una matriz de N x N puntos de medición.

```
#define RESTORE_LEVELING_AFTER_G28
```

- Por defecto, al empezar una impresión se activa el comando G28. Si se ha realizado un nivelado previo, se pueden borrar los valores obtenidos. Para evitarlo debemos activar esta función, que restablecerá los valores guardados.

```
#if ENABLED (AUTO_BED_LEVELING_LINEAR) || ENABLED (AUTO_BED_LEVELING_BILINEAR)
#define GRID_MAX_POINTS_X 5
#define GRID_MAX_POINTS_Y GRID_MAX_POINTS_X
```

Se establece el número de puntos de la matriz de medición, en este caso hemos escogido 5 puntos en X e Y.

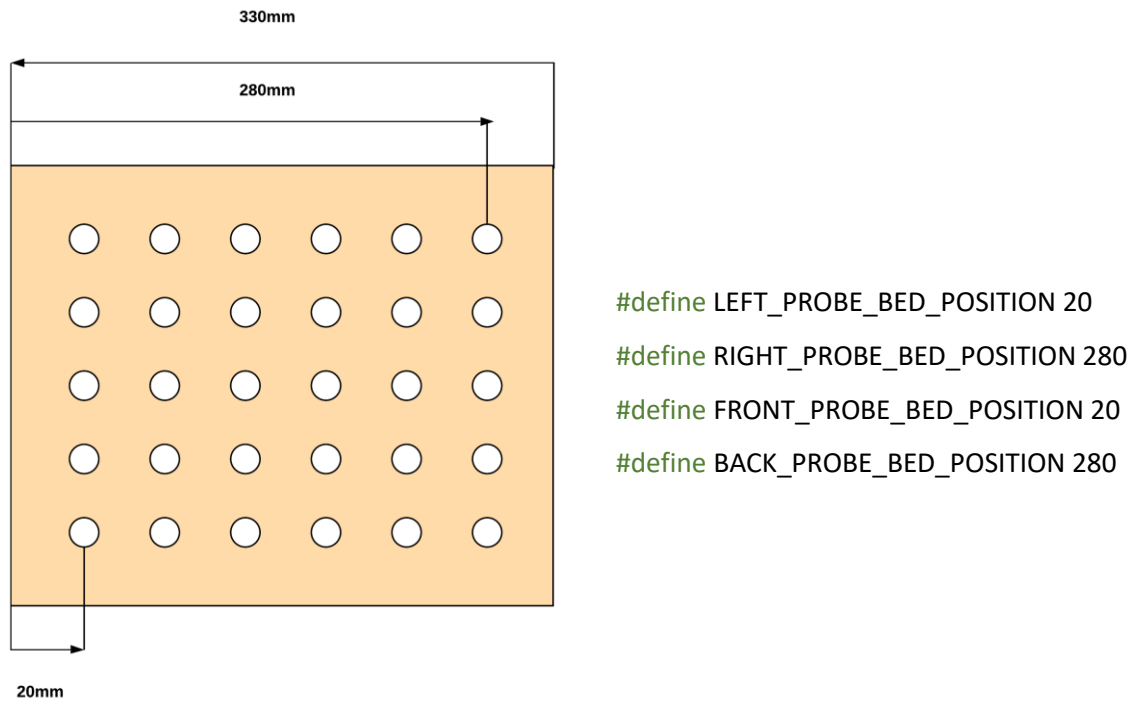


Figura 44 Esquema de la matriz de puntos bilineal

Estas líneas precisan la posición desde la que se empezará a realizar las mediciones. Como se puede observar en la imagen, se ha establecido un margen de seguridad respecto al vértice (0,0) de 20 milímetros. Para asegurar que el ventilador lateral del cabezal no impacte contra alguna superficie, se ha definido la posición máxima a la que podrá llegar el BLtouch en 280 milímetros. Por lo tanto, el sensor recorrerá una distancia de 52 milímetros entre los puntos.

```

#if ENABLED(AUTO_BED_LEVELING_BILINEAR)
#define EXTRAPOLATE_BEYOND_GRID
#define ABL_BILINEAR_SUBDIVISION
  #if ENABLED(ABL_BILINEAR_SUBDIVISION)
    #define BILINEAR_SUBDIVISIONS 3
  #endif
#endif

```

- Durante la nivelación normal se ha escogido una matriz de 5x5 puntos, aun así, se puede establecer un algoritmo que extrapola una serie de puntos ficticios a partir de los 5 puntos escogidos. Esto proporciona una mayor precisión y por tanto una mejora en la calidad de la primera capa. Las líneas de este código establecen una subdivisión lineal y en este proyecto se contará con 3 subdivisiones a partir de los puntos.

```
#define Z_SAFE_HOMING
#if ENABLED(Z_SAFE_HOMING)
  #define Z_SAFE_HOMING_X_POINT ((X_BED_SIZE) / 2)
  #define Z_SAFE_HOMING_Y_POINT ((Y_BED_SIZE) / 2)
#endif
```

- Existe la posibilidad de que al realizar la función G28 la punta del BLtouch impacte con algún obstáculo, para prevenir esto Marlin ofrece la posibilidad de realizar la función retorno de forma segura. Al activar esta función se dejará una distancia entre la cama y el sensor. La calibración de Z sólo se realizará después de las coordenadas X e Y, la posición para el punto de calibración puede personalizarse, en este caso se establece en el centro de la cama.

```
#define HOMING_FEEDRATE_XY (60*60)
#define HOMING_FEEDRATE_Z (4*60)
```

- Para la calibración de los ejes, se define respectivamente una velocidad de 60 y 4 milímetros por minuto para XY y Z.

Sección extra

Para aclarar las siguientes líneas se debe explicar qué es la “EEPROM”, es un tipo de memoria de sólo lectura que se puede programar. Todas las placas base incorporan cierto espacio, 512 K o más para este tipo de memoria. Su particularidad es que, la información guardada en ellas no desaparece al apagar el sistema.

Esto implica que Marlin guardará la configuración de los motores, sensores, parámetros de temperatura y los cargará cada vez que se encienda la impresora. Así mismo, el programa nos permite habilitar o deshabilitar la configuración de este tipo de memoria, por lo que, una vez cargado el código en la placa base se podrá modificar mediante Gcode. En este proyecto nos interesa poder modificar la memoria para ajustar algún parámetro en Pronterface, para ello se debe poder ejecutar los Gcode.

Debemos tener en cuenta que activar estas funciones consumen aproximadamente 2700 bytes de memoria, puede que algunas placas tengan problemas gestionando el espacio necesario. En este caso, la MKS gen L no presenta ningún inconveniente.

```
#define EEPROM_SETTINGS
```

```
//#define DISABLE_M503
```

```
#define EEPROM_CHITCHAT
```

- La primera línea permite ejecutar los comandos M500 y M501 habilitando la gestión de memoria. Se debe dejar deshabilitada la segunda línea de comando ya que nos interesa recibir información del sistema. La tercera línea nos indicará si ha habido algún error en la modificación de la EEPROM.

Las siguientes seis líneas corresponden a los perfiles de impresión que se programará según el tipo de material utilizado. En este proyecto se definirá dos perfiles básicos, el primero corresponde a la configuración para el precalentado de PLA y el segundo para ABS. Una vez cargado el programa en la placa, estos perfiles aparecerán en la pantalla del LCD como “Precalentar 1 y 2” y se podrán modificar a través del controlador.

```
#define PREHEAT_1_TEMP_HOTEND 200
```

```
#define PREHEAT_1_TEMP_BED 40
```

```
#define PREHEAT_1_FAN_SPEED 0
```

```
#define PREHEAT_2_TEMP_HOTEND 230
```

```
#define PREHEAT_2_TEMP_BED 90
```

```
#define PREHEAT_2_FAN_SPEED 0
```

Se ha decidido que inicialmente el ventilador esté apagado en ambos perfiles, para obtener una mayor adhesión de la primera capa a la cama. Como se verá más adelante, la configuración de los ventiladores y su velocidad podrá personalizarse según la altura de capa a través de programas de corte como Cura.

La función de “Nozzle_park” permite mediante el Gcode definir una posición a la que se debe dirigir el cabezal. Este recurso es de utilidad una vez se ha acabado de imprimir una pieza, para evitar que la boquilla repose sobre ella.

```
#define NOZZLE_PARK_FEATURE
```

```
#if ENABLED(NOZZLE_PARK_FEATURE)
```

```
#define NOZZLE_PARK_POINT {(X_MIN_POS + 10), (Y_MIN_POS + 10), 20}
```

```
#define NOZZLE_PARK_XY_FEEDRATE 100
```

```
#define NOZZLE_PARK_Z_FEEDRATE 5
```

```
#endif
```

- En este caso se define una posición para el reposo de (10, 10, 20) milímetros.

4.2.6 Introducción del controlador MKS

Aunque el controlador original de Tronxy era funcional, su diseño anticuado y la necesidad de reprogramar el sistema para marlín 1.1.9 ha implicado la decisión de introducir otro componente sustitutorio. En este caso, se trata de un controlador llamado MKS TFT28 y una de sus principales características es que no incorpora mecanismos de control analógicos, es una pantalla táctil.



Figura 45 Controlador MKS desconectado y en funcionamiento

Además, no es simplemente un sistema de visualización LCD. El conjunto incorpora una placa base propia que gestiona las órdenes y incorpora módulos adicionales como alimentación, conexión sin cables, puerto para tarjeta SD y USB. Al ser de la casa MKS, este sistema no requiere una configuración a través de Marlin con la placa, puede conectarse directamente y empezar a trabajar con él. El producto incorpora un manual, el cual puede encontrarse en internet y el cual se ha indicado en la bibliografía del trabajo.

Este monitor tiene una amplia selección de menús y configuraciones posibles. La conexión con la placa se realiza mediante un cable LCD estándar entre el puerto indicado en la imagen y el puerto auxiliar en la placa, al lado de las conexiones para los termistores.

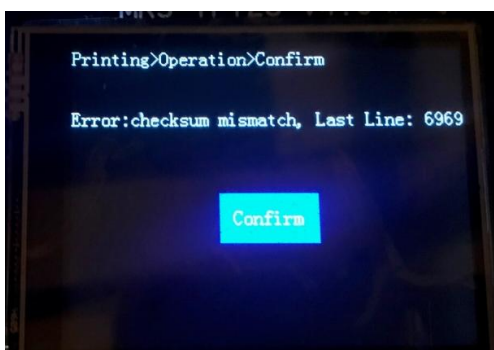


Figura 46 Error durante el uso del MKS

Como puede verse en la imagen derecha, el monitor dará este mensaje de error bajo ciertas condiciones. Esto puede suceder si se ejecuta un proceso de impresión con la placa base conectada al ordenador y también al TFT. En este caso se producirá un cruce de órdenes entre los sistemas y puede que la impresión no salga bien.

La línea de error que se ve en la imagen indica la capa de impresión en la que se produce este error de conexión. Una vez aparece el mensaje, el cabezal se detiene durante unos segundos.

Para solucionar este problema sólo se debe desconectar uno de los dos sistemas. El TFT o la conexión al ordenador mediante USB.

4.2.7 Instalación de un calentador de silicona i el relé de estado sólido

Uno de los grandes problemas de esta impresora está relacionado con su capacidad para aumentar la temperatura de la cama caliente. La fuente de alimentación que incorpora de serie tiene una potencia nominal de 240W, es decir, 12 V y 20A. Estas características no permiten sobrepasar los 60 grados de temperatura, y este máximo sólo se consigue con un período de calentamiento excesivamente largo.

A veces, si hay variaciones en la temperatura de la sala o corrientes de aire, la impresora es incapaz de llegar a esa temperatura. Además, el código Marlin incorpora una función de seguridad por la cual, si no se llega a la temperatura deseada tras unos minutos, el sistema cancela el calentamiento. Uno de los objetivos del proyecto era la capacidad para imprimir ABS, este polímero necesita una temperatura mínima para la cama de 90 grados. Esto ha motivado la búsqueda de dos tipos de solución

- Incorporar una fuente de alimentación con mayor potencial - 24V
- Trabajar directamente con el potencial monofásico de casa - 220V

Estas dos opciones permitirían solventar el problema de temperatura, cada una tiene sus ventajas e inconvenientes que se describen a continuación.

	Fuente de 24V
Ventajas	Mayor rapidez en el calentamiento que con la fuente de 12V. El montaje es relativamente seguro.
Inconvenientes	Montaje complicado, no todos los componentes aceptan 24V como por ejemplo el BLtouch, en este caso se deberá incorporar convertidores DC- DC de 24 a 12 voltios. Montaje más caro, se debe comprar otra fuente de alimentación, (y no son baratas), transistor mosfet, convertidores a 12V... Se debe refrigerar el sistema ya que el mosfet disipa calor.
	Calentador de Silicona

Ventajas	<p>Velocidad de calentamiento muy superior a las fuentes de 12 y 24 voltios.</p> <p>No se requiere refrigeración en el relé sólido, suele mantenerse entre 30 y 40 grados centígrados.</p> <p>Dependiendo de la marca del calentador y de su procedencia, el montaje es más económico que el de la fuente.</p>
Inconvenientes	<p>Este montaje es peligroso, una descarga eléctrica con este potencial puede suponer graves problemas para la salud y se debe proceder con cuidado.</p> <p>Se debe incorporar un relé de estado sólido, estos mecanismos no cierran totalmente el paso de corriente por lo que se recomienda incorporar en el circuito una toma a tierra.</p> <p>Es importante asegurarse de que se trabaja con las piezas correctas según sus especificaciones. Cuando se trabaja con estos componentes siempre hay riesgo de causar problemas eléctricos o un incendio, por eso debe añadirse un fusible que corte la corriente.</p>

Tabla 2: Ventajas y desventajas de cada sistema

Inicialmente se consideró implementar la primera opción, no obstante, después de haber analizado la tabla superior, adaptaremos el circuito para incorporar el calentador de 220V. A continuación, se explica el montaje realizado.

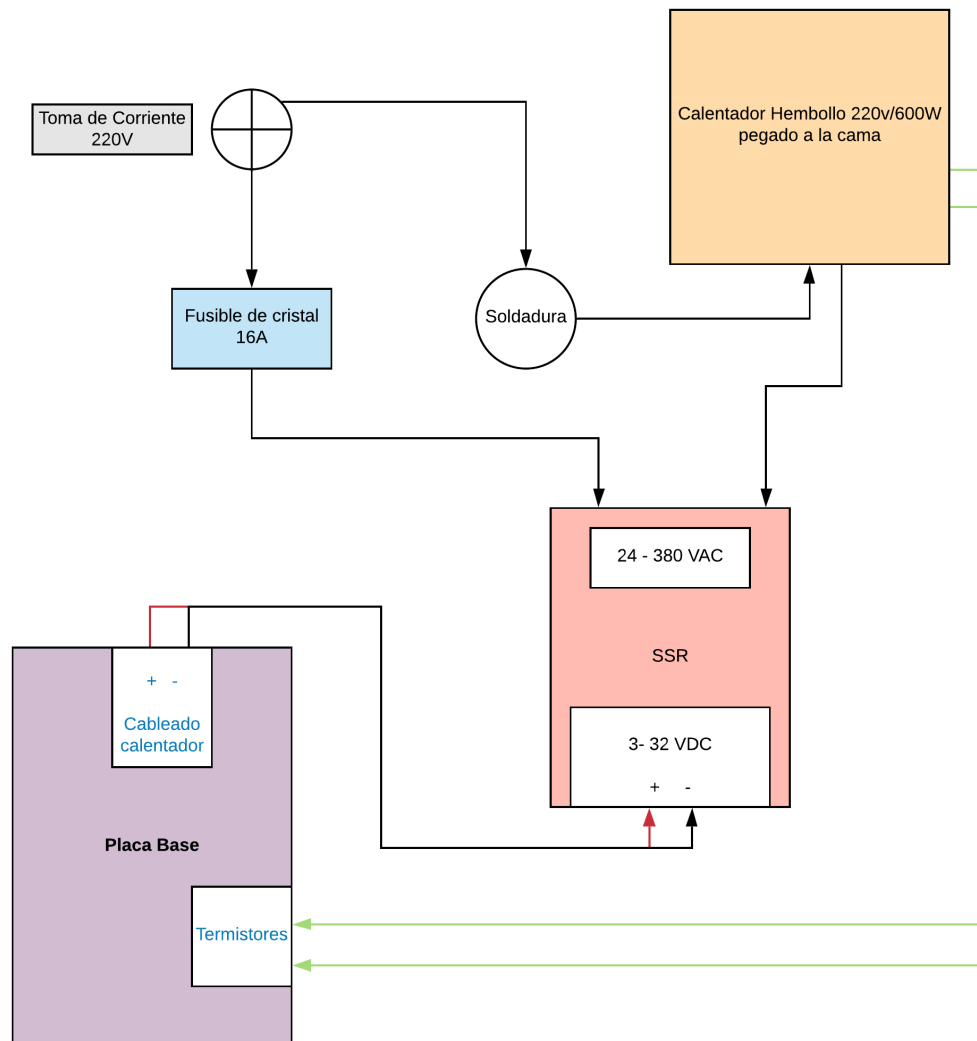


Figura 47 Esquema para circuito del calentador y relé, realizado mediante Lucid Chart

Para el montaje de este sistema se debe tener ciertos conceptos muy claros.

- Este circuito constituirá un sistema aparte de la fuente de 12V, con tomas de corriente distintas.
- Los cables blancos del calentador “hembollo”²⁸ se instalarán en la zona de corriente alterna del relé sólido. De los dos cables, no importa cual se conecte al relé y cual al cable de alimentación, ya que se trabaja con corriente alterna.
- Se debe proteger las soldaduras entre el cable blanco y el de alimentación, así como el fusible mediante un material no conductor, se recomienda utilizar un tubo plástico retráctil como el del Anexo I.

²⁸ Hembollo es la marca comercial que proporciona este tipo de calentadores, se puede comprar fácilmente a través de Amazon.

- Los termistores actuarán como sensores de temperatura y pueden conectarse a la placa sin complicaciones, como un circuito normal.
- Es extremadamente importante fijarse en la correcta polaridad de la conexión en la banda de corriente continua. El Terminal positivo de la placa debe conectarse al correspondiente del relé como se observa en la imagen del Anexo I. Una mala conexión puede implicar la fundición del circuito electrónico en la placa y derivados problemas eléctricos.
- No Se debe conectar el sistema a la red hasta asegura que ningún componente conductor queda al descubierto y puede entrar en contacto con personas.

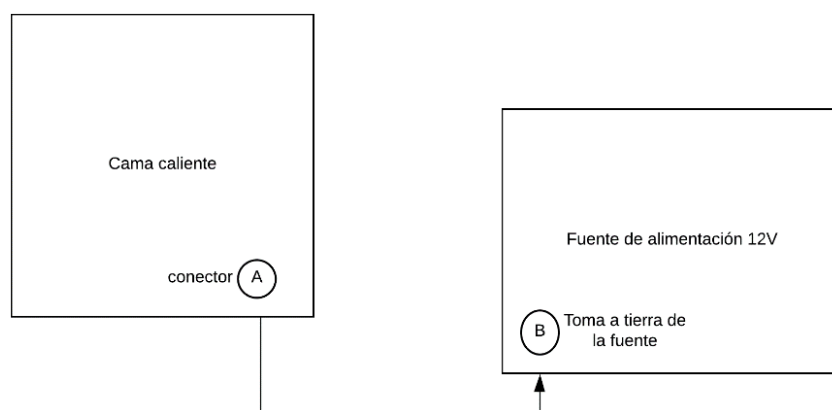


Figura 48 Esquema para la conexión a tierra del calentador, realizado mediante Lucid Chart

- El montaje para la toma a tierra se realiza tal y como indica el esquema superior. Se suelda una arandela a un cable conductor, se conecta el extremo a la parte metálica de la cama y el otro a la toma de potencial 0 de la fuente.
- Una vez se ha realizado el montaje debemos ajustar un nuevo control PID, que regulará mediante pulsos la conexión y desconexión del circuito monofásico a 220V. Así pues, el control electrónico permitirá obtener la curva de temperatura.

Ajuste del PID

El control PID se puede programar a través de Marlin de forma personalizada, cada usuario puede establecer una curva de control según las constantes proporcional “Kp”, integral “Ki” y derivativa “Kd” pertinentes. El problema radica en determinar que valores se deben usar para estas constantes.

Para ello, Marlin contiene una rutina que determina de forma sencilla los parámetros, mediante los comandos se determinará una curva de control óptima según el rango de temperaturas que se quiera alcanzar. En este proyecto se desea una temperatura de 90°C para

poder imprimir tanto en ABS como PETG. Por lo tanto, el primer paso a realizar será conectar la impresora al ordenador mediante el cable USB y abrir Pronterface. A continuación, se debe ejecutar el comando M303 E-1 S90 C8 U.

Estos parámetros indican que

- M303 ejecuta la instrucción para realizar un test de PID automático.
- E-1 indica que se quiere ejecutar el control de la cama caliente.
- S90 indica la temperatura a la que se quiere llegar sin problemas.
- C8 establece el número de ciclos de calentamiento para llegar a esa temperatura, el mínimo son 3 pero se ha elegido 8 para no cargar tanto la electrónica.
- U permite que se guarde la configuración automáticamente sin necesidad de el comando M500, una vez ha acabado el test.

Una vez se ha ejecutado el test de temperatura, podemos observar que el calentamiento es mucho más rápido. De esta forma, se puede proceder a imprimir sin sufrir tanto las consecuencias del levantamiento de la primera capa²⁹. A continuación, se muestran el funcionamiento del sistema, así como las curvas de temperatura.

La primera curva de temperatura que se muestra en la siguiente página corresponde al calentamiento de la cama sin la mejora del nuevo circuito. Puede verse que la temperatura de comando són 40°C, se ha decidido esta temperatura ya que es el límite hasta el cual el tiempo de calentamiento es razonable.



Figura 49 Relé sólido parado y durante su funcionamiento

²⁹ El levantamiento de la primera capa se conoce en inglés como “warping” y se produce por una diferencia de temperatura elevada entre la cama y una cierta altura de impresión.

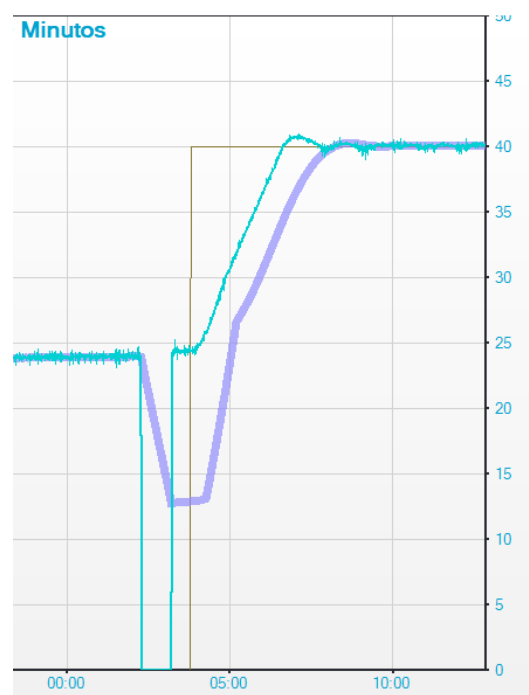


Figura 50 Curva de temperaturas sin el uso del relé

Como podemos observar, la consigna empieza en el minuto 4:00, en este instante la temperatura ya es de 24°C. La temperatura deseada no se alcanza hasta el minuto 8:00. Por lo tanto, el tiempo de calentamiento son 4 minutos para una diferencia de temperatura de 26°C.

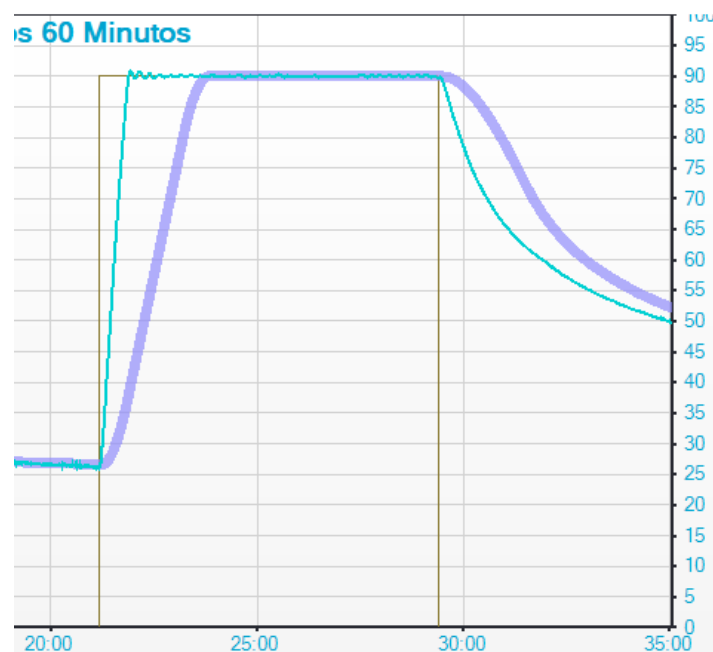


Figura 51 Curva de temperatura usando relé y calentador

Una vez implementada la mejora, se programa una consigna para 90°C en el minuto 21:00. En este instante la temperatura ambiente es de 26°C. Observamos en la curva azul claro que la temperatura deseada se alcanza en menos de tres minutos para una diferencia de 64°C.

4.2.8 Fuente de alimentación

Una vez substituidos los canales de ventilación para la impresora, se puede disfrutar de una máquina que trabaja de forma mucho menos molesta a plena potencia. Aun así, hay un componente que sigue siendo ruidoso y es la fuente de alimentación. En este apartado se buscará una solución simplemente para este problema, sin afectar de forma directa al rendimiento de la máquina.

Antes de empezar este proyecto, se disponía de ciertas piezas electrónicas debido a una actualización de los componentes en un ordenador. Una de ellas es un ventilador silencioso de 60x60x15 milímetros, este componente servía para disipar el calor en un procesador Intel y ahora servirá para obtener una fuente de alimentación más silenciosa.

Los pasos para la instalación de un disipador similar son muy simples. Debemos abrir la fuente de alimentación con especial atención a la disposición de tornillos, para poder cerrarla sin complicaciones posteriormente.

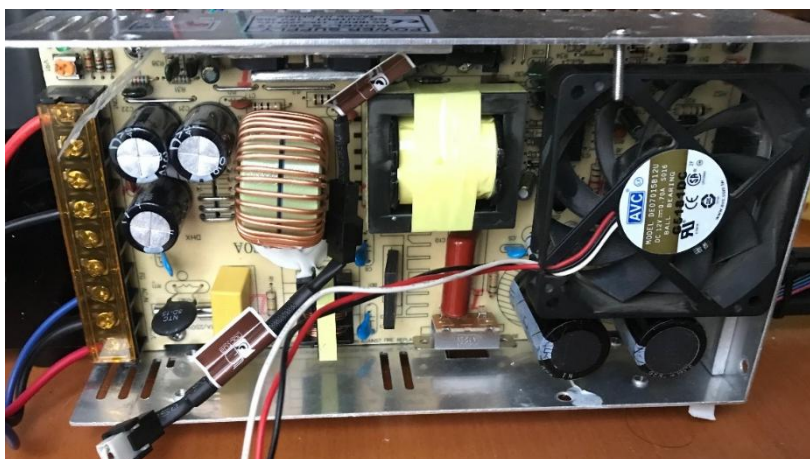


Figura 52 Instalación del disipador Intel dentro de la fuente de alimentación

Una vez abierta se debe comprobar que el disipador cabe en la estructura, además deberemos encontrar el pin de conexión correspondiente. Dado que es una fuente de 12v, el pin de alimentación para el ventilador también lo es, sin embargo, dispone sólo de dos conectores (el potencial positivo en rojo y el negativo en negro). Mientras que, el ventilador incorpora un pin con triple conector, la solución para ello en este caso ha sido acoplar los pines mediante un

adaptador 3-2 que venía en la caja de ventiladores Noctua. Una vez que el sistema está conectado, se une el nuevo ventilador a la chapa metálica mediante los tornillos pertinentes y se cierra la fuente de alimentación. El resultado de este proceso implica un cabal de aire superior y un sistema más silencioso.

4.2.9 Mejora del sistema mecánico

Uno de los problemas de diseño en esta máquina resulta en la transmisión de movimiento de las poleas X e Y. Este sistema actúa mediante un bloque conjunto, es decir, hay un solo tornillo que gestiona el movimiento de los dos cojinetes con dientes. Esto puede crear una carga excesiva sobre la base y por consiguiente, se puede observar una ligera inclinación en el tornillo y los cojinetes hacia el centro de la impresora.

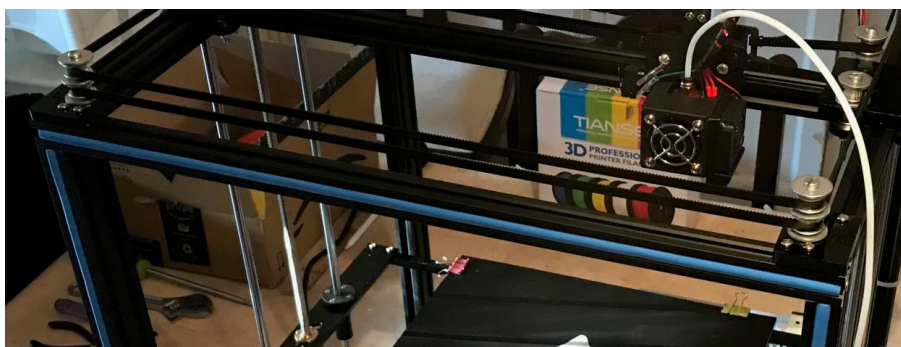


Figura 53 Transmisión inicial del movimiento en dos niveles

Además, al forzar el correaje de Y por un nivel superior, se crea una diferencia de altura entre el extremo de las correas unidas al cabezal y la sección que pasa por el último cojinete dentado. Estas dos observaciones motivan el planteamiento de otro sistema de transmisión, en el cual se divida la carga de movimiento separando los dos cojinetes y se reduzca la distancia vertical ya mencionada.

Por consiguiente, se realiza un diseño para la base en X e Y, la pieza debe ser lo suficientemente ancha para poder alojar los cojinetes sin que se toquen. Las medidas concretas pueden observarse en el apartado de planos. Estas piezas se imprimen en material ABS para garantizar una resistencia adecuada según el uso indicado. Como podemos observar en las siguientes imágenes, la pieza es un bloque sencillo en el cual se generan tres orificios para la unión del sistema a la base, su fijación es la misma que el de la anterior polea, mediante los PM4x 9 mm y los perfiles T.

En este caso, los cojinetes dentados siguen estando en niveles diferentes. El cojinete exterior cuenta con un espaciador de ocho milímetros que evita el contacto entre correas. Una gran diferencia respecto al diseño base, el cual mantiene un correaje recto, es que la distribución de correas pertinentes en X e Y se cruzará en la parte frontal de la base. Esto no supone un problema para la distribución del movimiento mientras estas correas no impacten entre sí.

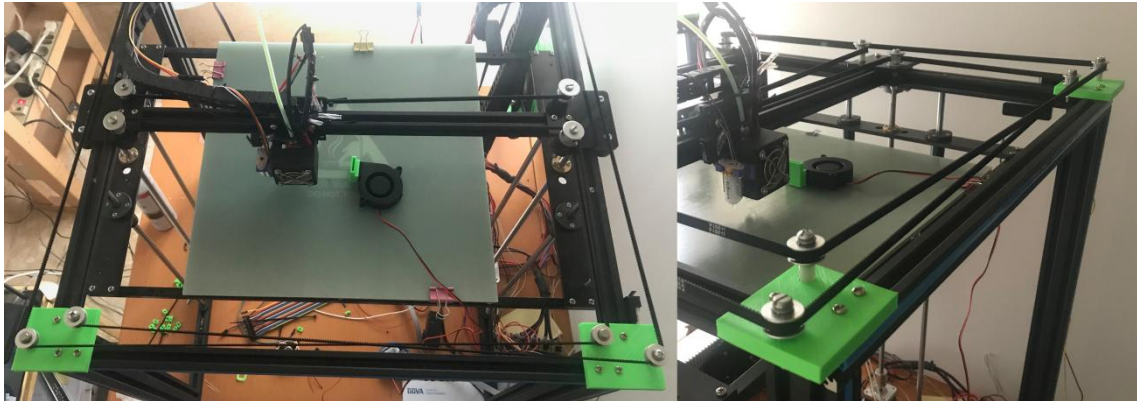


Figura 54 Nueva transmisión de movimiento junto a poleas X e Y

4.2.10 Sujeción para la correa del cabezal

Durante el uso de la máquina, esta ha recibido un golpe en la cadena que sujeta el cabezal y los cables. Como consecuencia, un extremo de la cadena se ha roto y por tanto el conjunto ya no se mantiene recto. La cadena disminuye en altura a lo largo del recorrido hasta el cabezal, esto es un problema ya que puede llegar a rozar otros componentes de la máquina cuando se efectúan movimientos de impresión. Para resolver la situación se ha diseñado una pieza muy simple que sujetará el extremo de la cadena, manteniendo recto el conjunto.



Figura 55 Nueva pieza para la unión de la cadena

A la derecha podemos observar la pieza recién imprimida en ABS, a la izquierda el conjunto ya montado, para ello se ha necesitado poner pegamento incoloro en el extremo de la cadena. Una vez se ha secado, el sistema se mantiene estable y no interfiere durante los movimientos con otras piezas, por tanto, se puede considerar un arreglo eficiente.

4.2.11 Aislamiento térmico y cerramiento

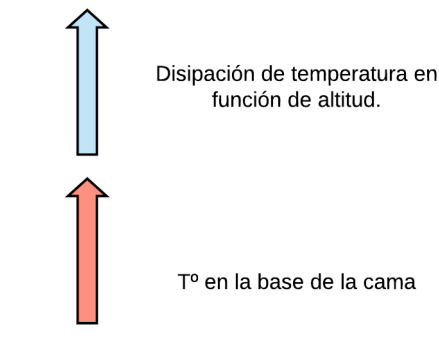


Figura 56 Disipación del calor según altura, realizada con Lucid Chart

Para evitar posibles variaciones de la temperatura, se decide aislar la máquina del ambiente exterior construyendo un armario para la impresora. Además, este montaje permitirá reducir también los niveles de ruido a velocidades de impresión moderadas. Las medidas exactas para el diseño de este recinto se pueden observar en el plano número 5 del documento.

Esta mejora permite reducir el efecto de la disipación en función de la altura, ya que el gradiente de temperaturas será menor. Por lo tanto, se obtiene un método para solventar, en parte, el problema del “warping”. Para el aislamiento térmico de la máquina, se ha decidido incorporar paneles de madera MDF, disponibles en centros como Leroy Merlín. Este material puede ser cortado a medida sin costes adicionales.

Para poder realizar el montaje de esta estructura se necesita

- Panel de madera MDF 65x65x10 mm
- Panel de madera MDF 65x65x10 mm
- Panel de madera MDF 65x65x10 mm
- Panel de plexiglass 100x100x5 mm
- Pintura en esmalte blanco
- Bisagras 50x12 mm
- Cables RGB
- Cierres magnéticos
- Pomo de hierro

Se puede observar un listado con la imagen de estos componentes en los anexos. Además, serán necesarios otros materiales que podemos encontrar en ferreterías habituales, como una sierra manual, rodillos, pegamento de acción total, un soldador y cable de estaño. El primer paso para el montaje consiste la creación de la estructura, para ello se necesita unir los perfiles de madera mediante el pegamento de acción total.

La disposición de los paneles MDF es la siguiente:

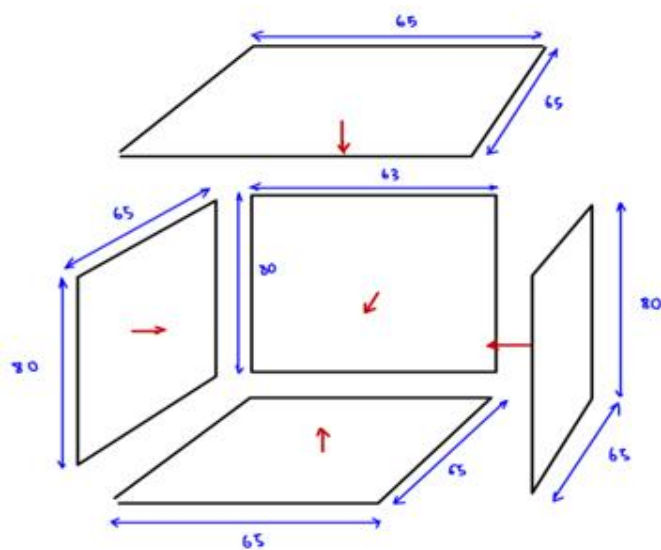


Figura 57 Esquema con iPad de la distribución de paneles a la izquierda y su montaje a la derecha.

Como podemos ver en la imagen superior, puede que los vértices entre perfiles no sellen completamente la estructura, en este caso será necesario aplicar una segunda capa de pegamento o probar con una masilla de efecto madera. El siguiente paso consistirá en aplicar una capa de pintura sobre las superficies. Una vez se haya secado la primera capa, se aplicará una segunda mano para obtener una estética uniforme.



Una vez acabado el proceso de pintado, se procederá a instalar la puerta del armario. Para ello, lo primero que debe hacerse es la colocación de los cierres magnéticos. El concepto de este armario es una estructura que cierre herméticamente la impresora y pueda abrirse fácilmente por una cara. Se ha considerado que una opción sencilla pero efectiva para fijar la puerta a los paneles, es mediante un pivote con imán en el extremo interior y un perfil metálico unido a la puerta transparente.

Figura 58 Pintura del cerramiento e instalación del sistema de cierre

En esta imagen se puede observar la estructura ya pintada con la colocación de estos cierres magnéticos. Como podemos ver se ha decidido incorporar dos cierres, uno en la base y el otro unido a la tapa superior. Para su uso efectivo, deberían introducirse lo más cercanos posible al vértice derecho de la estructura y en el borde del panel. El siguiente paso será obtención de la puerta a partir del perfil acrílico transparente. Para cortar el material se han probado dos métodos:

- Corte mediante una sierra caladora: El primero ha supuesto un gran fracaso ya que, la velocidad de giro del motor hace que la hoja corte demasiado rápido, por consiguiente, se producen vibraciones durante la operación que dificultan un corte recto. Además, debido a la velocidad de corte y la fricción causada entre los materiales, el cristal acrílico se acaba fundiendo, lo que genera un aspecto terrible en el corte e imposibilita la consecución de la operación.

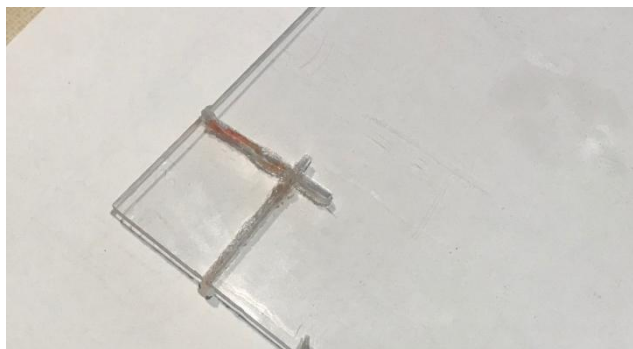


Figura 59 Problemas para cortar el metacrilato mediante sierra caladora

- Corte mediante sierra manual con hoja de acero: Consciente de que el problema en el corte se debe a la velocidad del mismo, se ha decidido realizar la operación mediante una sierra manual. Debemos tener en cuenta que el cristal acrílico es un material duro y cortarlo de esta forma va a suponer mucha paciencia para el usuario, aun así, el resultado es mucho mejor.

Antes de seguir con el montaje de la puerta, se insertará las tiras LED en el interior de la tapa superior. Esto proporcionará una buena iluminación del recinto y nos permitirá ver qué ocurre durante la impresión. Para ello debe cortarse secciones con una longitud de 50 centímetros, estas secciones se unirán a la madera simplemente retirando el papel protector de la tira y pegándolas. La unión entre las secciones se realizará mediante tres cables RGB y un cable de alimentación gris. Estos cables se soldarán en los conectores tal y como indica la siguiente figura.



Figura 60 Detalle de soldadura a la izquierda y test de iluminación a derecha

Estos LED pueden funcionar mediante un controlador externo o mediante la unión en los pines PWM de la placa MKS.

Una vez se obtiene el panel acrílico con las medidas deseadas, se unirá a la estructura MDF mediante tres bisagras colocadas en el vértice izquierdo. Se ha decidido completar la unión mediante pegamento incoloro en vez de tornillos, ya que obtenemos un acabado más estético. Finalmente, lo único que queda por hacer es añadir el pomo que permitirá abrir y cerrar la puerta correctamente. Su posición queda a discreción del usuario, en este caso se ha colocado tal y como indican el plano número 5.

Una vez comprobado que no quedan desperfectos en la estructura, se puede proceder a introducir la impresora, el resultado final se muestra a continuación.



Figura 61 Resultado final para el cerramiento

Una vez llegados a este punto podemos darnos cuenta de que, pese a un buen desarrollo del

cerramiento, la distribución de cables es un poco caótica. Además, el hecho de tener la electrónica y la fuente de alimentación en el interior podría suponer un problema al trabajar con altas temperaturas. Por eso se decide perforar el lateral inferior para pasar los cables y conectar de forma mucho más limpia todo. Además, se decide imprimir una carcasa para el TFT MKS y la placa.

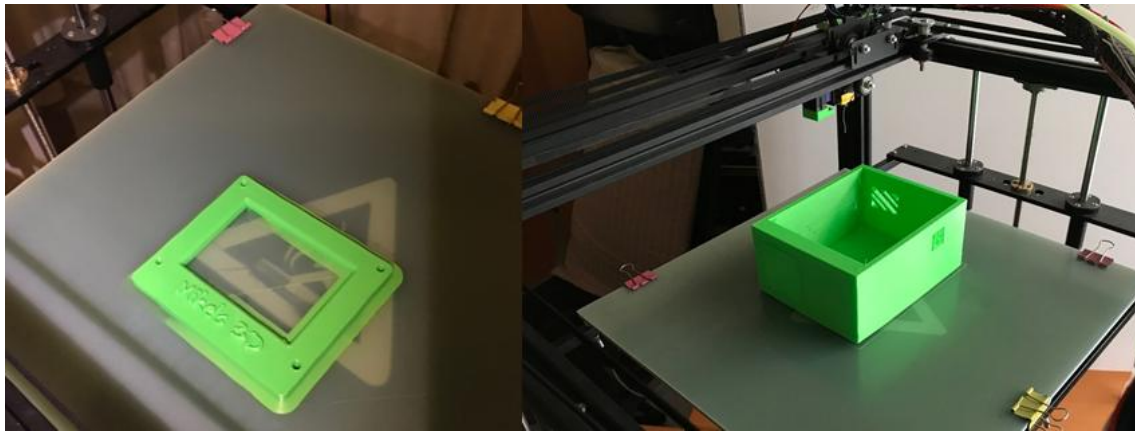


Figura 62 Impresión de carcasa MKS y placa base



Figura 63 Resultado final tras la gestión de cables

Por lo tanto, ahora sí que se puede observar el sistema final de impresión. Las protecciones para la placa base y el TFT han sido diseñadas en SolidWorks e impresas con PLA.

5 MONTAJE DE LA IMPRESORA Y MANUAL PRÁCTICO

Antes de poder explicar el diseño de las piezas y del modelo práctico, podría ser interesante definir ciertos conceptos acerca de los programas utilizados para crear las piezas imprimibles. Como se ha relatado en el inicio de este documento, la tecnología utilizada para el proyecto es

la impresión FDM. Esto implica que las piezas se generarán a través de un laminado de capas fundidas de plástico. Desgraciadamente, la impresora no es capaz de determinar por sí sola cómo debe realizarse este laminado en función de la altura.

Para poder crear objetos imprimibles se definirá el uso de un programa llamado “Repetier”. Este programa y otros similares se denominan software de corte. El significado de esta expresión es justamente la de cortar, su principal función será dividir el objeto geométrico en capas y gestionar ciertos parámetros como la velocidad de impresión. Este software convertirá el archivo geométrico de la pieza en un conjunto de comandos o gcode, que es la información entendible para la impresora. A continuación, se define el esquema de proceso que debe seguirse siempre para crear una pieza 3D:

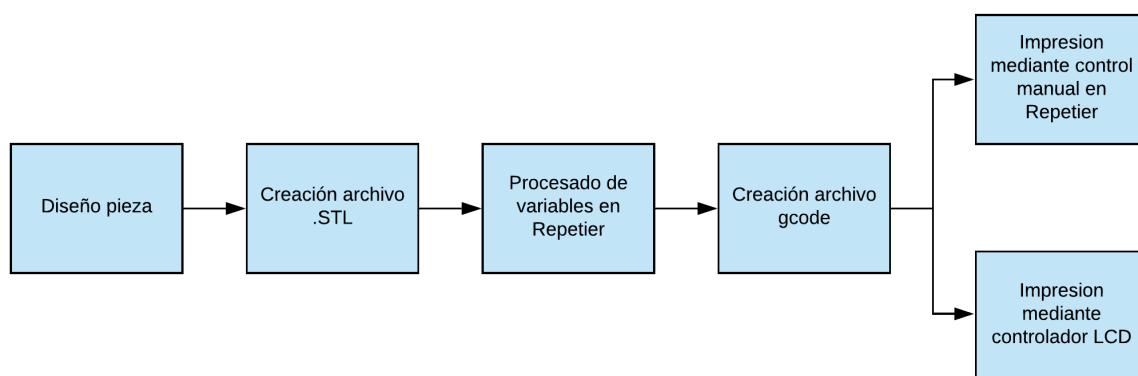


Figura 64 Esquema para todo proceso de impresión, realizado mediante Lucid Chart

5.1 Repetier – Host

El primer paso que se debe dar es la descarga del programa a través de la web oficial. Este programa tiene soporte para todos los sistemas operativos, además es gratuito, por lo que resulta una gran opción para empezar dentro del mundo de la impresión 3D.

La instalación del programa es muy sencilla, sólo hace falta seguir los pasos del gestor de descarga. Una vez se ha instalado, debemos abrir el programa para configurar el tipo de impresora, para ello simplemente se debe acceder al icono de ajustes situado en la parte superior derecha.

Una vez abierto, se configurará un perfil para la impresora con el nombre Tronxy x5s. Hay varias opciones para poder conectar la máquina al ordenador, Repetier recomienda por defecto utilizar la conexión server, que permite un control desde un servidor de internet en

cualquier parte. En este proyecto simplemente se realizará una conexión en serie mediante el USB.

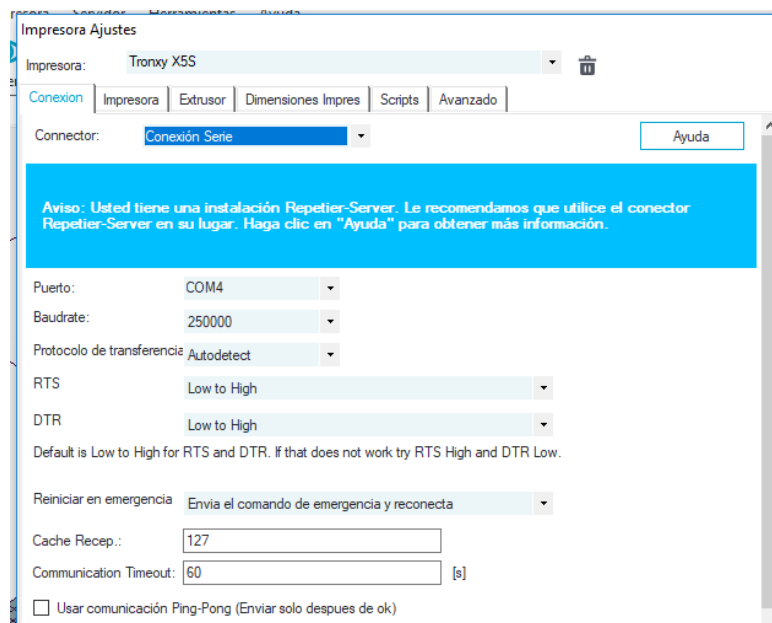


Figura 65 Configuración de conexión en el programa de corte

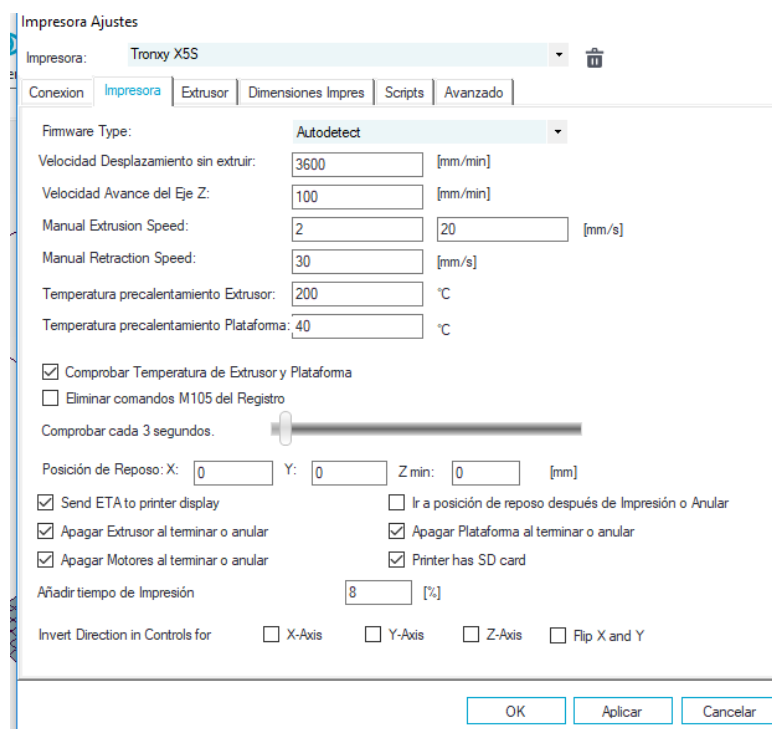


Figura 66 Configuración de la impresora en el programa de corte

Como se indica en las capturas, es posible modificar los valores de velocidad de movimiento en el eje Z y las temperaturas a través del programa.

Impresora Ajustes

Impresora: Tronxy X5S

Conexion Impresora Extrusor Dimensiones Impres Scripts Avanzado

Numero de Extrusores: 1

Number of Fans: 2

Max. Extruder Temperature: 250

Max. Bed Temperature: 120

Max. Volume per second: 12 [mm³/s]

☐ Printer has a Mixing Extruder (one nozzle for all colors)

Extrusor 1

Nombre:

Diameter: 0.4 [mm] Temperature Offset: 0 [°C]

Color:

Offset X: 0 Offset Y: 0 [mm]

OK Aplicar Cancelar

Figura 67 Configuración del extrusor en el programa de corte

Impresora Ajustes

Impresora: Tronxy X5S

Conexion Impresora Extrusor Dimensiones Impres Scripts Avanzado

Printer Type: Impresora cartesiana

Reposo X: 0 Reposo Y: 0 Reposo Z: 0

X Min 0 X Max 330 Coord. X Plat: 0

Y Min 0 Y Max 330 Coord. Y Plat: 0

Anchura area de impresión: 300 mm

Profundidad area de impr.: 300 mm

Altura area de impresión: 400 mm

Los valores mínimo y máximo definen el rango de coordenadas del extrusor. Estas coordenadas pueden ser negativas y salir de la plataforma. Coord X/Y de la plataforma define las coordenadas donde la plataforma comienza. Cambiando los valores min/max puedes mover el origen en el centro de la plataforma si el firmware lo soporta.

Y Max

E

C

OK Aplicar Cancelar

Figura 68 Configuración de la cama en el programa de corte

Finalmente se establecerá el tamaño de la cama caliente con las medidas descritas al principio del proyecto.

5.1.1 Primeros pasos

Una vez se ha configurado la impresora y tenemos un diseño en formato STL, se procederá a introducirlo en el programa. Por defecto, si se pincha en el icono del archivo se abrirá Repetier. También puede cargarse desde el programa mediante la pestaña archivo o con el icono de añadir objeto. Si nos fijamos en la captura del menú principal, podemos ver este icono representado con un círculo y el símbolo +, debajo de la pestaña Slicer.

Una vez se ha añadido el objeto, podemos añadir copias de este mediante el tercer icono de la barra horizontal derecha. Automáticamente se añadirá la misma pieza al lado de la actual.

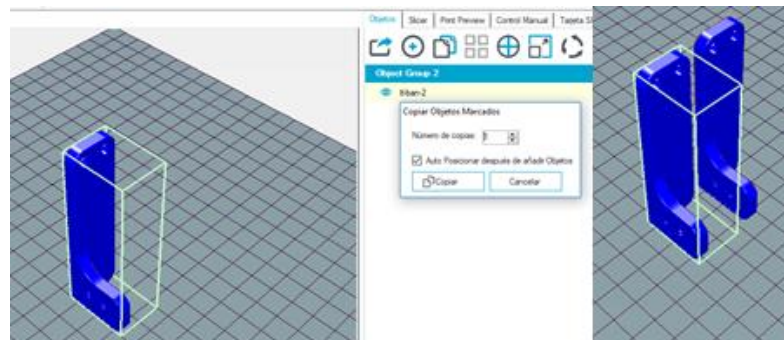


Figura 69 Captura de la función copiar

Los dos iconos siguientes permiten el posicionamiento de las piezas en el centro de la cama. Otro icono importante es el de escalado de objeto, este nos permitirá ampliar a disminuir el tamaño de una pieza según cada coordenada.

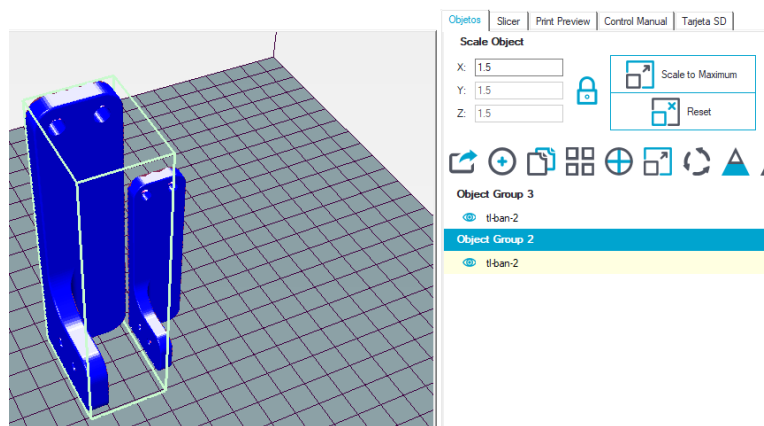


Figura 70 Captura de la función escalar

El séptimo icono permitirá girar la pieza en los tres ejes, esta es una de las funciones más útiles y importantes del programa ya que, la posición de la pieza afectará al tiempo de impresión y posiblemente a su calidad.

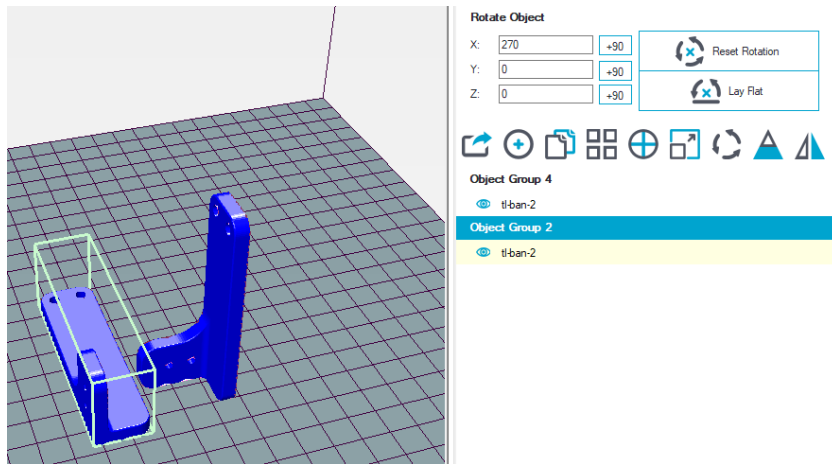


Figura 71 Captura de la función rotar

5.1.2 Configurar parámetros de impresión en Slicer o Cura

Repetier es un programa que incorpora varios módulos de corte para las piezas. Esto significa que incorpora diversas opciones para la configuración de laminado y estas se describirán a continuación. Lo primero que se debe hacer es acceder a la pestaña Slicer, la primera opción en este apartado será la elección del módulo de corte. Se escogerá como ejemplo el “CuraEngine”. A continuación, se deberá pinchar en la casilla de configuración, de tal forma que aparecerá el siguiente cuadro

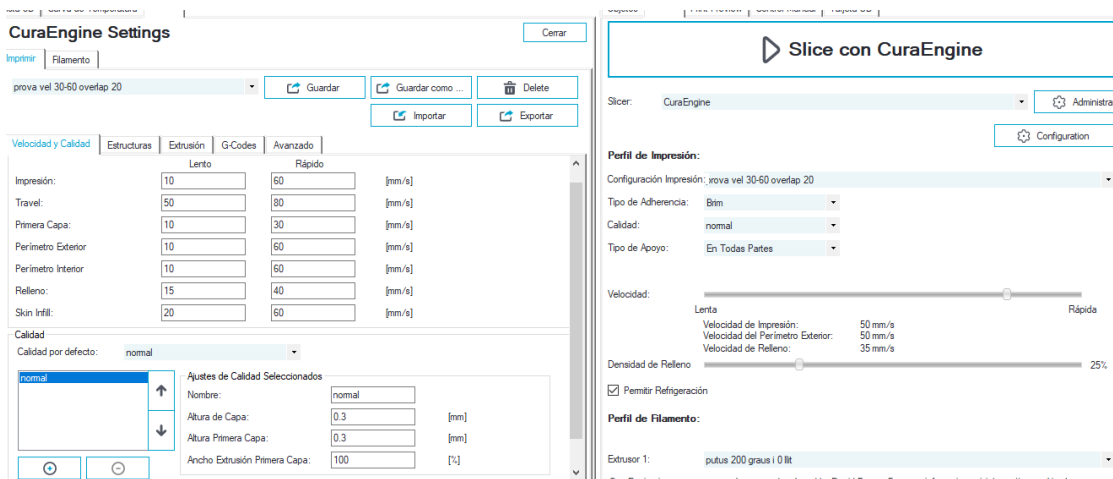


Figura 72 Captura para el menú de Cura

En la imagen superior podemos ver los cuatro menús de configuración desde los que se modificarán todos los parámetros. El primero corresponde al de velocidad y calidad de impresión.

	Lento	Rápido	
Impresión:	<input type="text" value="10"/>	<input type="text" value="60"/>	[mm/s]
Travel:	<input type="text" value="50"/>	<input type="text" value="80"/>	[mm/s]
Primera Capa:	<input type="text" value="10"/>	<input type="text" value="30"/>	[mm/s]
Perímetro Exterior	<input type="text" value="10"/>	<input type="text" value="60"/>	[mm/s]
Perímetro Interior	<input type="text" value="10"/>	<input type="text" value="60"/>	[mm/s]
Relleno:	<input type="text" value="15"/>	<input type="text" value="40"/>	[mm/s]
Skin Infill:	<input type="text" value="20"/>	<input type="text" value="60"/>	[mm/s]

Figura 73 Configuración de parámetros referentes a velocidad de impresión

Como se ha comentado anteriormente, hay diferentes tipos de movimiento durante la impresión. La primera casilla corresponde al movimiento estándar durante la extrusión, recorrido corresponde a los movimientos sin extrusión y los demás al perímetro y relleno. A partir de varias pruebas, desde este proyecto se recomienda los valores indicados en la imagen. Podríamos ampliar la velocidad a 100mm/s y reducir el tiempo de impresión, aunque, esto puede generar vibraciones en el sistema y reducir la calidad de la pieza en bordes o orificios pequeños.

Ajustes de Calidad Seleccionados		
Nombre:	<input type="text" value="normal"/>	
Altura de Capa:	<input type="text" value="0.3"/>	[mm]
Altura Primera Capa:	<input type="text" value="0.3"/>	[mm]
Ancho Extrusión Primera Capa:	<input type="text" value="100"/>	[%]

Figura 74 Ajuste de la altura de capa o definición de la pieza

Este menú permite seleccionar la calidad de la pieza mediante la altura de capa, el cabezal de impresión tiene un orificio de 0,4 milímetros, pero permite que el flujo de plástico sea regulado hasta 0,15 milímetros. Se debe tener en cuenta que, a menor altura de capa mayor será la calidad, pero también será mayor el tiempo de impresión. En piezas grandes esto puede significar una diferencia de horas. En este proyecto se han realizado varias piezas con calidad 0,3 milímetros, aunque el estándar son 0,2. El ancho de extrusión en la primera capa nos permitirá un mejor agarre del objeto a la cama caliente.

A continuación se observa los parámetros para la estructura interior y exterior de la pieza. El primer y segundo recuadro indican el espesor de la capa exterior, vertical y inferior en una pieza, se puede decir que es la cascara sólida de la misma. Para reducir tiempo y material, el interior del objeto se construye siguiendo un patrón de relleno.

Velocidad y Calidad	Estructuras	Extrusión	G-Codes	Avanzado
Relleno				
Shell Thickness:	<input type="text" value="0.8"/>	[mm]		
Espesor Superior/Inferior:	<input type="text" value="0.6"/>	[mm]		
Infill Overlap:	<input type="text" value="20"/>	[%]		
Infill Pattern:	<input type="text" value="Líneas"/>			
<input checked="" type="checkbox"/> Relleno Superior Sólido	<input checked="" type="checkbox"/> Relleno Inferior Sólido			
Apoyo				
Patrón de Apoyo:	<input type="text" value="Líneas"/>			
Overhang Angle:	<input type="text" value="60"/>	[°]		
Cantidad de Relleno:	<input type="text" value="15"/>	[%]		
Distancia XY:	<input type="text" value="0.7"/>	[mm]		
Distancia Z:	<input type="text" value="0.15"/>	[mm]		

Figura 75 Configuración de apoyos

Hay diversas opciones en cuanto al tipo de patrón, hay formas: lineales, lineales con forma concentrica, triangulares y hexagonales. Estas geometrias influyen en el tiempo de impresión, el material consumido y la resistencia de la pieza.

El patrón mas utilizado en el proyecto es el lineal debido a su rapida impresión y a la calidad aceptablemente resistente. Al realizar los movimientos de rellenado, la maquina llegará mas o menos lejos en función de el porcentaje “Infill overlap”. Como se ha podido comprobar en este proyecto, si se dispone de un porcentaje bajo y velocidad alta aparecerán surcos en los bordes y esquinas de la pieza. Por el contrario, si se determina un porcentaje alto, se observará un exceso de plástico en los bordes. Así pues, un 20% es ideal para la velocidad descrita anteriormente.

Algunas piezas requerirán el uso de soportes o apoyos, esto implica la extrusión de finas capas de plástico que soportarán el peso de geometrias curvadas en la pieza principal. Estos apoyos serán facilmente removibles una vez acabada la impresión. Los parámetros indicados en la imagen superior para los apoyos no han sido modificados y se puede decir que su función es correcta.

Skirt crea una linea perimetral alrededor de la pieza para conseguir una extrusion uniforme, así los pequeños restos de plástico no fundido en la punta quedan lejos de la primera capa. Desde el menú puede configurarse el grosor, la distancia respecto la pieza y la longitud de dicha linea.

Hay piezas que, por su pequeña sección en la base y el agrandamiento de esta con la altura, tienen problemas de adherencia a la cama. Una solución es configurar una extrusión alrededor de la base llamada “Brim” o “Raft” según su grosor de capa. Esto permite una sección mucho más amplia y por tanto más difícil de mover.

Si pasamos al menú de extrusión, aquí se podrá modificar parámetros ya establecidos en marlín como la retracción del filamento, con más opciones de configuración. Otro parámetro importante es la refrigeración, en este proyecto se deshabilitará los ventiladores durante las primeras capas ya que, se ha observado una mejora en la adherencia a la cama. A partir del primer milímetro de altura se activarán los ventiladores a máxima velocidad.

Finalmente, el menú de gcode permite establecer el comportamiento de la impresora al inicio y final del proceso de impresión. Sólo se ha modificado el segundo código para indicar al cabezal que debe realizar un retorno de X e Y al terminar la pieza.

Una vez definido esto, ya se tiene los parámetros para el programa configurados. Ahora sólo hace falta volver al menú principal y pinchar en la barra de “Slice con CuraEngine”. Esto activará el algoritmo de corte y se obtendrá el código para la impresión de la pieza. Cuando el programa acaba de realizar el corte de la pieza nos aparece directamente el menú para la confirmación de la impresión. En este apartado puede observarse el tiempo que tardará el objeto, así como el número de capas y el material plástico gastado.

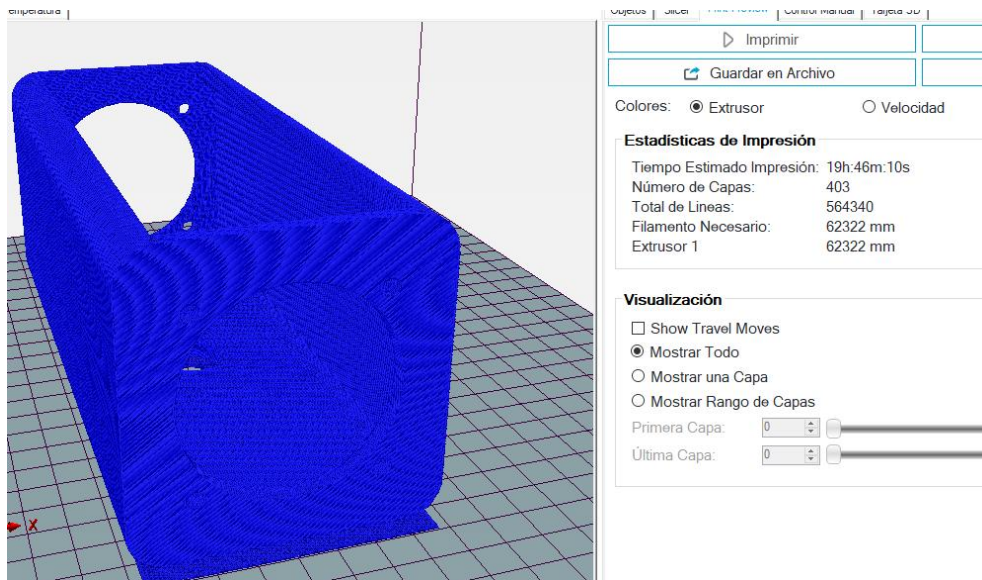


Figura 76 Menú de preimpresión

También tenemos la opción de conectar la impresora al ordenador mediante el programa y realizar la impresión, o guardar el archivo. gcode en una tarjeta SD para introducirla en el LCD controlador e imprimir desde él.

5.1.3 Control manual

Durante el proyecto se ha realizado varias piezas conectando la impresora a Repetier, mediante el cable USB, de esta forma puede trabajarse con el menú de control manual. Una de las ventajas de utilizar este tipo de conexión es que, se obtiene un ajuste mucho mas detallado de las variables de impresión que con el controlador LCD. La imagen muestra como se puede controlar el movimiento del cabezal y el extrusor, podmeos alterar temperaturas y activar o modificar la velocidad de los ventiladores. Tambien hay un apartado para la introducción de gcodes en la parte superior.

5.2 Pronterface y correcta calibración de altura

Otro programa utilizado en este proyecto y realmente necesario es Pronterface. Este software basado en el lenguaje C permite la configuración de ciertos parámetros de la impresora mediante las ordenes gcode. Su funcionamiento es similar al mencionado control manual de Repetier, pero incorpora una ventana de chat que facilita la modificación y lectura de los códigos. La principal tarea desarrollada por el programa es la calibración de la altura final de impresión o "Offset" en Z.

Para ello, lo primero que debe realizarse es la descarga del programa a través de la web oficial, el proceso es similar al de Repetier por lo que no hace falta dar detalles. A continuación, se abrirá y procederemos a conectar la impresora, teniendo en cuenta el puerto que se debe utilizar, en este caso es el COM4.

En la figura 77 se puede observar el menú principal del programa. Una vez hemos conectado la impresora pueden aparecer varias líneas de código como las que se observan en la parte derecha. Estos són los valores definidos en Marlin para la configuración de la impresora.

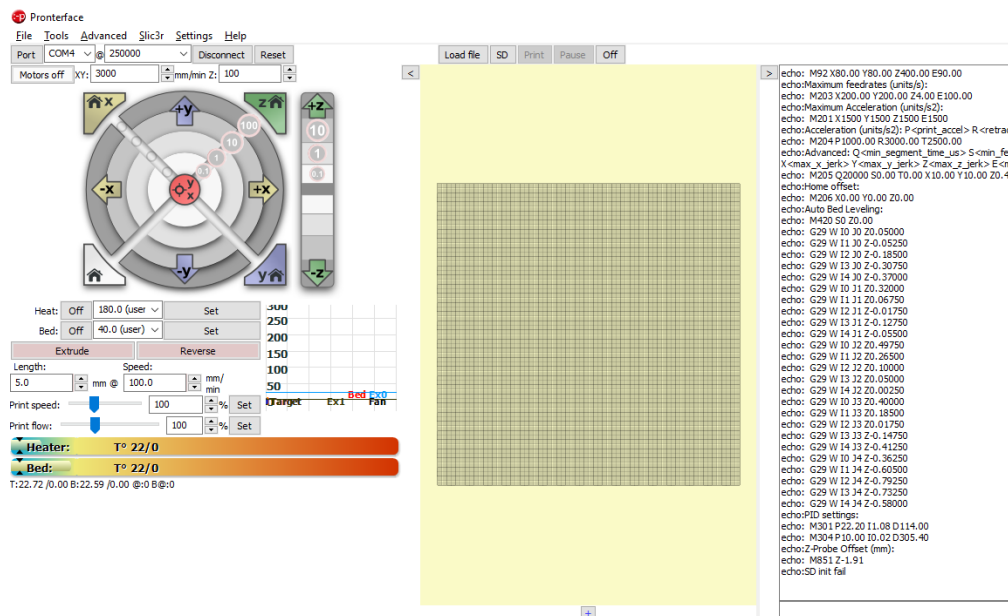


Figura 77 Panel de control en Pronterface

El primer paso para configurar la altura final de impresión es acceder al panel de gcode, debajo de los códigos que se muestran en pantalla, entonces se seguirá el siguiente protocolo

- Debemos ejecutar el G28 para que la impresora reconozca las coordenadas de referencia.

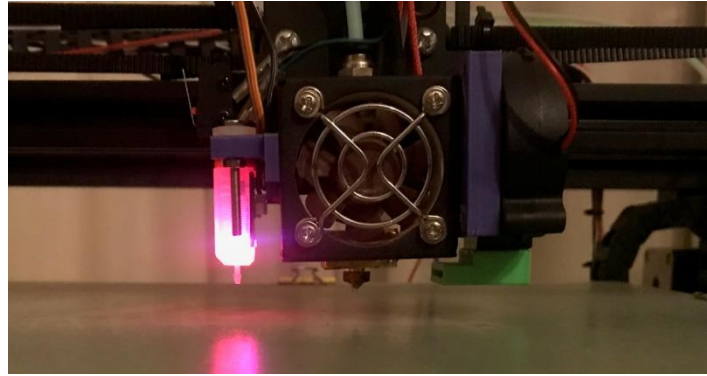


Figura 78 Posición del cabezal después de ejecutar G28

Como podemos observar, después de ejecutar este comando el sensor ya ha detectado la altura mínima y ordena al cabezal retirarse una distancia de seguridad.

- El siguiente comando va a ser G1 F60 Z0, esto permitirá al cabezal descender hasta la posición de referencia Z = 0 mm.

Este paso ya se ha ejecutado antes durante el proyecto, por tanto se debería ver el cabezal descender hasta tocar prácticamente la superficie. En cambio, si no se ha llevado a cabo este proceso, podrá verse que después de ejecutar el comando todavía hay una cierta distancia entre el cabezal y la cama. Esta posición es la que utilizará la máquina durante los movimientos de impresión, por lo tanto, si hay una cierta distancia no se obtendrá la pieza que queremos realizar. Así pues, debe procederse con el siguiente paso.

- Se ejecutará el comando M211 S0, esto permitirá al cabezal descender por encima del límite que marca el sensor de carrera.
- Ahora debemos prestar especial atención al menú de movimiento en el controlador LCD, ahí se indica la posición actual del cabezal en Z: (m.mm) milímetros.

Deberemos colocar una hoja de papel entre la cama y el cabezal y se dará la orden para que descienda hasta que la punta toque la hoja. Se deberá comprobar que la hoja puede moverse debajo del cabezal, con cierta fricción pero permitiendo un movimiento libre. Esta será la nueva posición hasta la que debe descender el cabezal. Teniendo en cuenta que la hoja de papel tiene un grosor aproximado de 0,1 milímetros, deberemos establecer la nueva altura con la fórmula:

$$Z_{calibrada} = Distancia\ recorrida - 0,1$$

Ecuación 2 Calibración de altura en Z

Donde la distancia recorrida es aquella a la que se ha movido el cabezal después del comando M211. Esta distancia aparecerá en el LCD como un valor negativo ya que corresponde a la

diferencia respecto la coordenada de referencia 0 del límite de carrera. En este proyecto se obtuvo un valor total de

$$Z_{calibrada} = -1,91 \text{ milímetros}$$

- El siguiente paso es ejecutar M851 Z-1,91 , lo que permitirá establecer la nueva altura como el límite inferior de impresión.
- A continuación se ejecutará M211 S1 para volver a activar los límites de altura, lo que evitará al cabezal descender por debajo de Z calibrada.

```
echo:Z-Probe Offset (mm):  
echo: M851 Z-1.91  
  
M503
```

Finalmente se introducirán los comandos M500 y M501 para guardar el nuevo parámetro y cargarlo en la EEPROM respectivamente.

Figura 79 Guardado del parámetro Z

Una vez se ha realizado este proceso, se puede ejecutar el comando M503 para ver en pantalla los resultados. Si hemos tenido éxito aparecerá el valor calculado al final del código de parámetros.

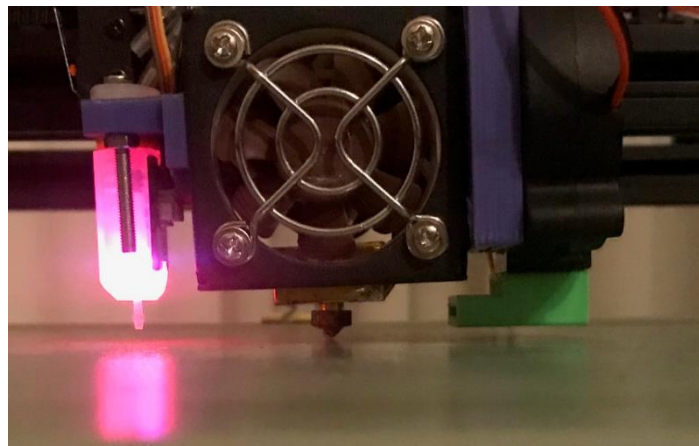


Figura 80 Posición del cabezal una vez calibrado

Además, si se ejecuta ahora el G1 F60 Z0 podrá observarse como el cabezal desciende hasta tocar prácticamente la cama. Esta es la altura ideal para empezar a realizar impresiones.

Durante el transcurso del proyecto se ha trabajado con la rutina de nivelación bilinear y una matriz 5x5 según muestra la figura 49. Pero este método no ha sido del todo eficaz, de hecho, ha fallado a veces y por lo tanto la máquina no ha aplicado la corrección en Z. Se puede

observar que piezas grandes como la carcasa para la placa base presenta rayadas en la superficie.

Para corregir estos defectos se ha implantado otro sistema de nivelación denominado UBL. Es un sistema mucho mas complejo y con mejores opciones de ajuste que el bilinear, aunque esta basado en este. Para poder utilizarlo sólo hace falta activar en arduino la función “`#define AUTO_BED_LEVELING_UBL`”.

Una vez se ejecuta el comando para nivelar la cama, se procede a realizar una matriz 10x10 de medidas. Esta matriz puede visualizarse luego en el ordenador o el LCD de la impresora, con la ventaja de poder ajustar el valor de corrección en Z manualmente para cada punto. Así pues, se consigue un mapa de correcciones muy detallado. A continuación, puede verse el resultado obtenido para este proyecto.

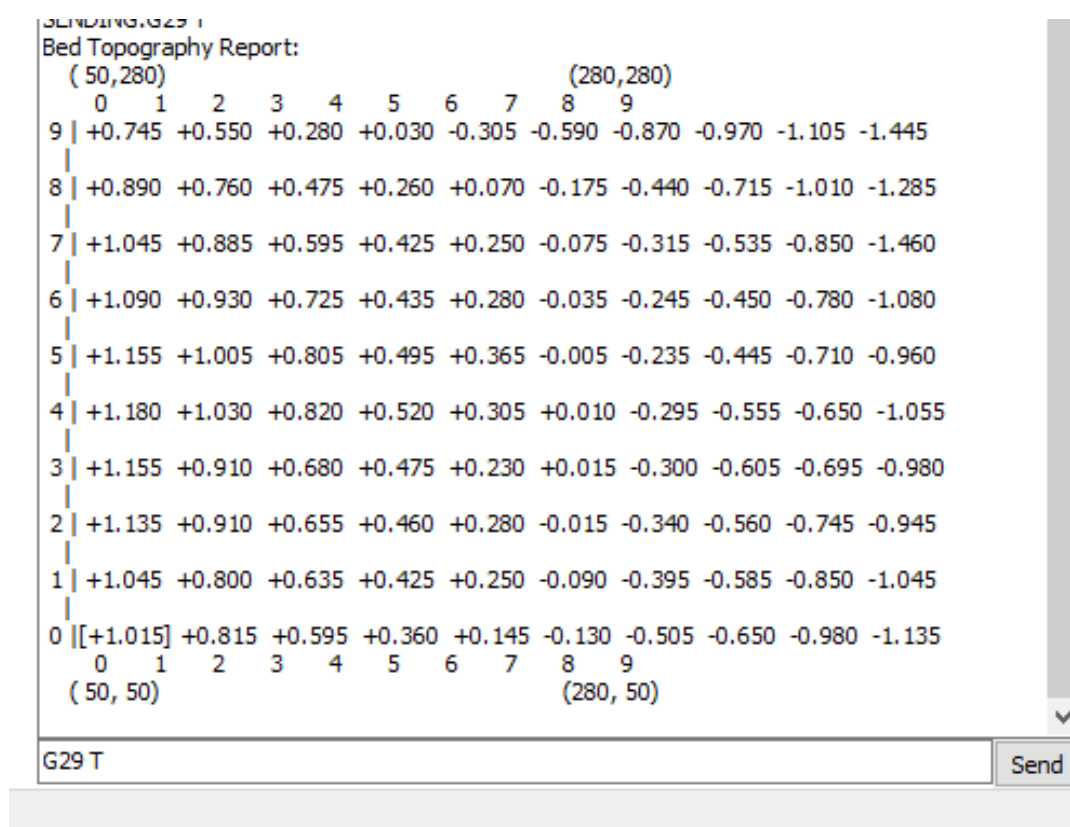


Figura 81 Conjunto de valores para la matriz de nivelación

Esta matriz puede observarse en el ordenador ejecutando el comando “G29 T” mediante el programa Pronterface. Para guardar los datos en la placa base, debemos ejecutar el M500. Los valores con un simbolo positivo indican que el cabezal esta por encima del valor 0 de la cama,

por lo tanto, la corrección se llevará a cabo disminuyendo altura. Por el contrario, los símbolos negativos indican que se debe aumentar la altura del cabezal para no rallar la cama.

Una vez se quiera imprimir el objeto deseado, deberemos ejecutar el comando “G29 A” si tenemos la impresora conectada al ordenador. Esta intrucción activa la función de corrección, es muy importante ejecutarlo ya que , si no lo hacemos, la impresora trabajará sin las correcciones de Z en cada punto. En caso de controlar la impresora desde un LCD, se deberá activar mediante el menú de UBL que aparece en pantalla.

5.3 Proyecto práctico

5.3.1 Diseño del modelo

Ahora que se ha comentado todos los parametros a tener en cuenta para el funcionamiento de la impresora y se han incorporado las mejoras descritas, se procederá a describir el diseño de un modelo práctico que será objeto de exposición durante la presentación del proyecto. El objeto a realizar és un altavoz con una potencia nominal de 30 vatios. Este sistema se compondrá de piezas especialmente encargadas para el diseño, como los drivers de la marca Dayton que pueden observarse en el anexo. También incorporará elementos reciclados, como el convertidor de voltaje correspondiente a un antiguo altavoz desechado.

El diseño de este sistema se ha realizado mediante el software Solidworks, el cual permite un modelado profesional y facilidad para importar archivos a formato STL. Antes de proceder con las características específicas del mismo, se definirá la idea o concepto principal para este modelo. En un principio se buscaba un concepto de altavoz tubular, similar al de populares modelos comerciales como “JBL flip”, se puede ver una representación de este diseño en la figura XX. Este tipo de estética ha variado ya que, debido a las características de los drivers Dayton, la propagación del sonido tiende a ser cónica con una amplitud moderada.

Por lo tanto, despues de muchos diseños se ha decidido que la mejor opción es un sistema de dos drivers frontales, con un cierto angulo entre ellos para cubrir de forma uniforme el espacio sonoro. Además, este sistema incorporará un orificio frontal que actuará amplificando la potencia a bajas frecuencias sonoras.

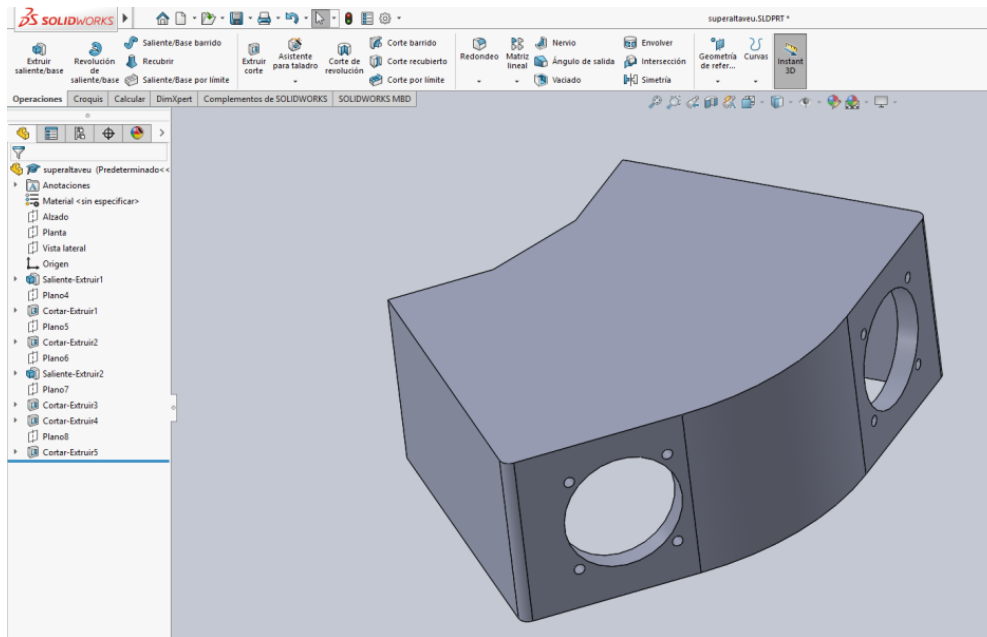


Figura 82 Vista frontal del altavoz en SolidWorks

Esta optimización de los graves se producirá ya que el diafragma de los drivers podrá desplazar un mayor volumen de aire desde la parte posterior de los altavoces, el aire desplazado a una cierta frecuencia podrá salir por el orificio amplificando el sonido. Además de los drivers, se ha decidido implementar un amplificador con un pequeño módulo bluetooth, esto permitira a un usuario conectar de forma inalámbrica el teléfono o la tablet y disfrutar cómodamente de la música.

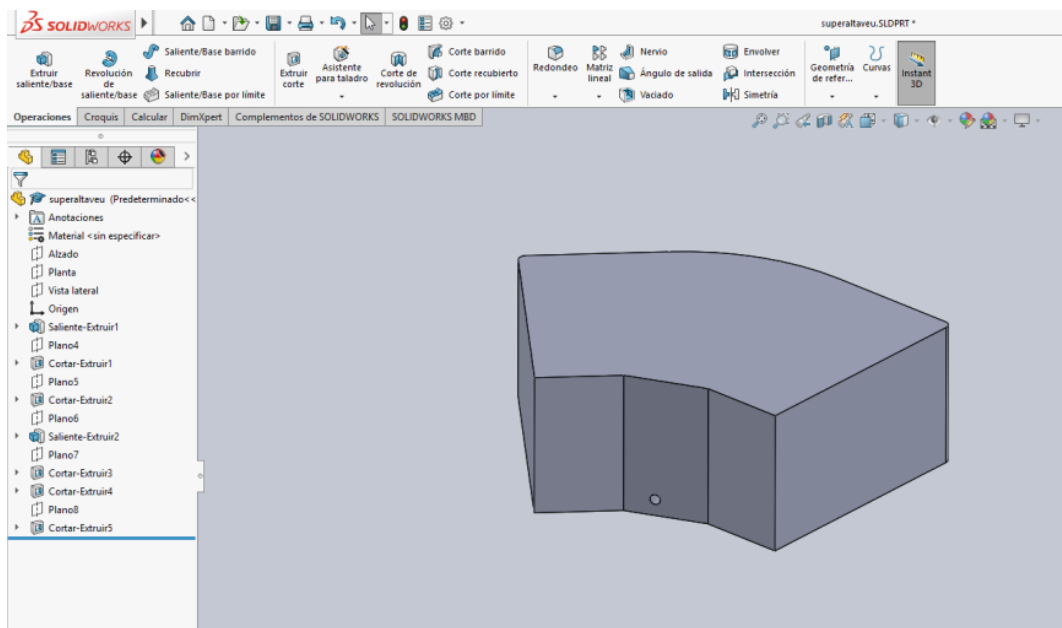


Figura 83 Vista posterior del altavoz en SolidWorks

Estas dos imágenes muestran el modelado del diseño final utilizando el programa. Los detalles geométricos de la pieza se describen en el plano N°4 del documento correspondiente.

Para obtener un prototipo totalmente funcional, debe considerarse el método de alimentación para los altavoces. Inicialmente se optaba por una conexión directa con la red a través del transformador reciclado, sin embargo, esto limitaría el uso del dispositivo y lo alejaría de los modelos portátiles a los que pretende semejarse. Por lo tanto, se diseña una batería recargable que permitirá un uso continuado durante al menos una hora.

Por último, se indica la configuración del circuito para que el sistema de altavoces funcione, el convertidor reciclado dará potencia a partir de la conexión directa a la red, el interruptor permitirá una conexión permanente a la red sin que el sistema reciba corriente, el amplificador recibirá un potencial de 12V que permitirá a los drivers generar el sonido deseado

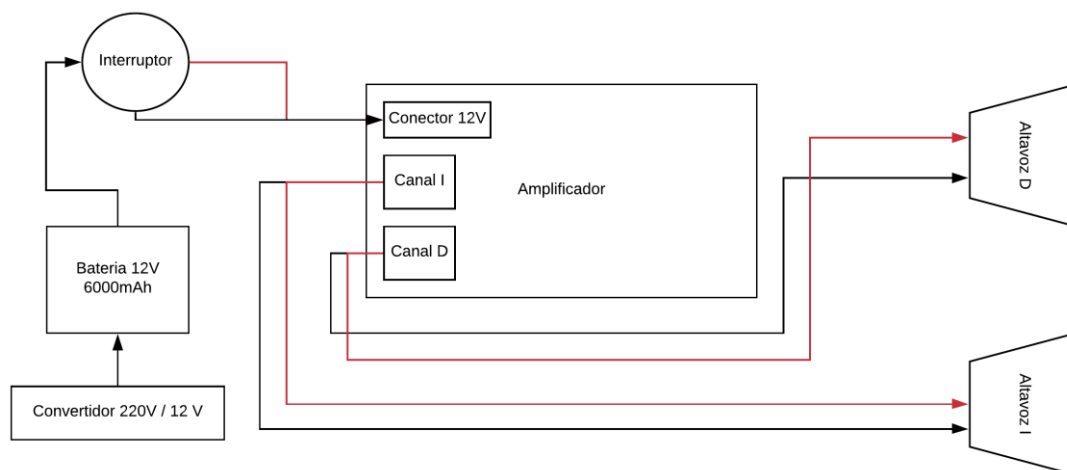


Figura 84 Esquema del circuito electrónico

5.3.2 Impresión del modelo

Esta es posiblemente la etapa más complicada del proyecto. Dado que la pieza no se someterá a desgaste o esfuerzos mecánicos, se ha decidido realizar la impresión con PLA. Inicialmente se considera un PLA con fibras de madera, el cual tiene una textura diferente al normal, y un olor semejante. Durante el transcurso del proyecto se ha realizado muchos intentos cambiando ciertos parámetros como la temperatura, la velocidad de extrusión, el tipo de cabezal e incluso se ha calculado varias veces la matriz de corrección para la nivelación de la cama. También se ha considerado la impresión con PLA normal, a continuación, vemos algunos intentos.

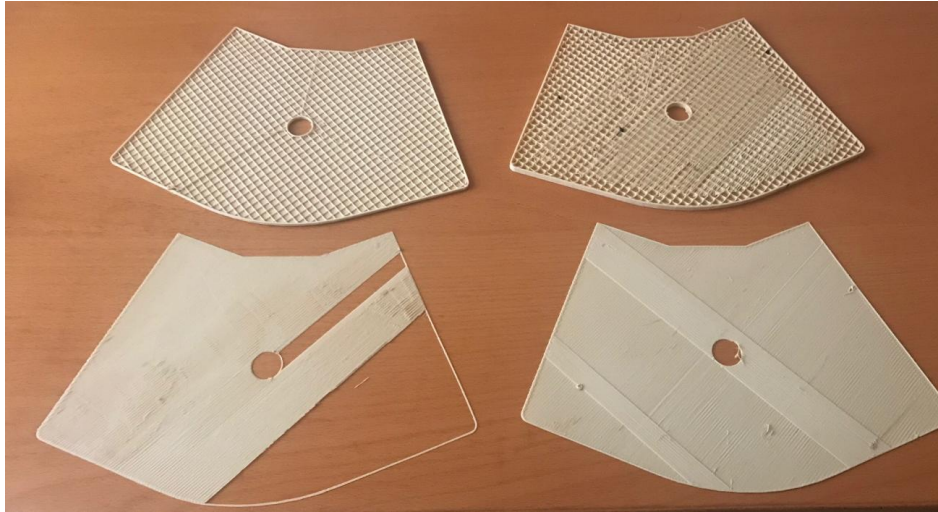


Figura 85 Primeros intentos de impresión para el altavoz

Los primeros cuatro intentos han ido realmente mal. La impresora genera una primera capa con muchos defectos, a partir de la cuarta capa empieza a hacer el relleno interior con una consistencia irregular y antes de llegar al centímetro de altura no es capaz de imprimir más ya que el cabezal se obstruye. Parámetros utilizados:

- Temperaturas del cabezal y cama: 210 , 40 °C.
- Velocidad de impresión 20 – 30 mm/s.
- Primer intento con la matriz de nivelación por UBL.
- Altura de capa 0,3 mm y cabezal de 0,6mm.

Los posibles factores que dan a cabo este resultado són una temperatura muy alta y una nivelación imprecisa. El primer factor puede generar que el filamento obtenga una consistencia pastosa antes de entrar en el bloque de calefacción, por lo que acabaría generando la obstrucción., aun así, parece infactible ya que trabajamos dentro de la temperatura recomendada por el fabricante. Parece que el problema tiene que ver más con la nivelación, por eso la primera capa no esta acabada o tiene defectos similares a ralladas.

La solución que se ha buscado es una nivelación manual de la mayoría de puntos despues de ejecutar el UBL. Se ha podido comprobar en ciertos puntos que el cabezal estaba un poco alejado de la cama y en otros la tocaba, impidiendo la extrusión de plástico. Una vez se corrige estos valores se obtiene otros resultados.



Figura 86 Mejora en el proceso de impresión del altavoz

Durante los siguientes intentos también se ha probado la impresión con PLA normal, el cual ha dado mejores resultados en la primera capa y por tanto menos defectos superficiales. Aunque como en el caso anterior no se ha llegado a superar un centímetro de altura. En cambio, con el filamento de madera se puede observar un progreso. Esta vez la impresora puede generar piezas con una altura entre 3 y 4 centímetros, hay menos defectos superficiales, pero seguimos teniendo un problema de obstrucción en el cabezal que impide llegar más lejos.

Modificaciones respecto a la configuración anterior:

- Matriz UBL corregida.

Debido a la persistencia del problema se decide enfocar una solución desde el ámbito térmico. El hecho de mantener la impresora en un recinto cerrado puede generar que la disipación del cabezal no sea suficiente, por eso se rebajará la temperatura en intervalos.

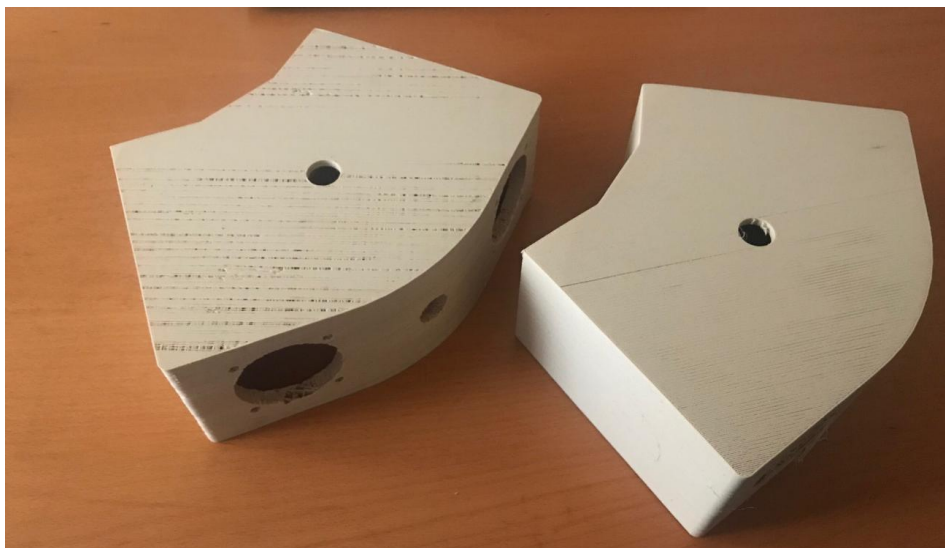


Figura 87 Piezas completamente impresas

Modificaciones respecto la configuración anterior:

- Temperatura del cabezal: 205°C.
- Altura de capa 0,4mm.

Estos dos intentos se han podido completar sin que el cabezal se obstruyera, cada pieza ha tardado un total de 18 horas y media. Podemos ver que el intento de la izquierda tiene un aspecto terrible en la superficie y se debe a una desconfiguración del UBL. Una vez reconfigurado obtenemos el ejemplo de la derecha, que aun contando con defectos, ofrece un acabado mucho mejor y la idea de tener una pieza completa.

Aun así, se decide realizar otro intento para ver si se puede reducir algunas imperfecciones. El siguiente modelo que vamos a ver corresponde a la pieza definitiva, la cual sera objeto de supervisión el día de la presentación.

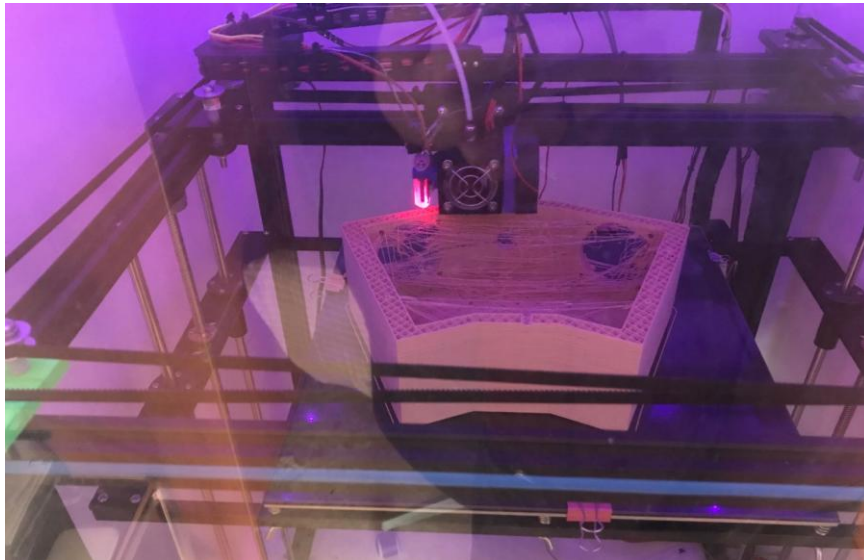


Figura 88 Proceso de impresión final

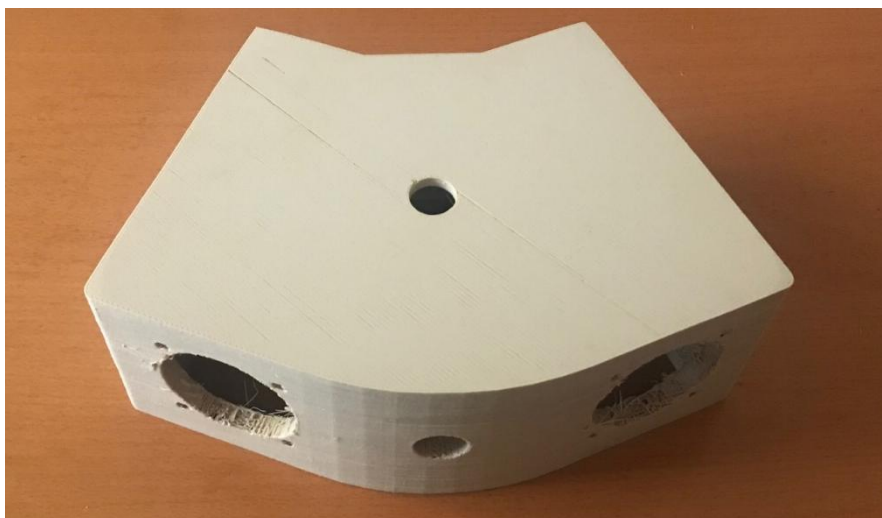


Figura 89 Resultado final para la impresión

5.3.3 Montaje de la electrónica

El primer componente que vamos a incorporar es la batería. Para su diseño nos basaremos en los conceptos que expone Micah Toll en su libro, incluido en la bibliografía.

Actualmente hay muchos tipos de batería que pueden usarse en proyectos pequeños de electrónica. El mercado ofrece diversas opciones según la tecnología de carga, así como su forma o tamaño y las necesidades energéticas del proyecto. Para este prototipo se ha considerado el diseño de una batería de ion litio compuesta por diversas celdas. Esta decisión se basa en parámetros explicados a continuación como su gran densidad de energía, su capacidad de descarga y el bajo efecto memoria en función de los ciclos de carga.

El prototipo está formado por dos drivers Dayton con una potencia de 15 vatios, por lo tanto:

$$P_{RMS} = 30 W$$
$$P_{\max \text{ pico}} = 60 W$$

Como podemos apreciar, es posible que en un determinado momento los altavoces soporten un pico de potencia superior al valor nominal. Por consiguiente, en el dimensionamiento de componentes se dejará cierto margen respecto la potencia RMS. Necesitaremos una batería capaz de suministrar 40 vatios de forma estable durante una hora. Al disponer de un sistema pensado para trabajar a 12 voltios, tenemos que:

$$necesidad \text{ energetica} = 40 Wh$$
$$E (Wh) = V_{(volts)} \cdot I_{(Ah)} \quad ; \quad I_d = \frac{40 Wh}{12 V} = 3,3 Ah$$

Ecuación 3 Necesidad energética de la batería

Para que nuestros altavoces funcionen durante el tiempo establecido se debe garantizar una capacidad de descarga del orden de 3 amperes en una hora.

Las baterías de ion litio se forman a partir de celdas, estos elementos pueden tener diversas formas y tamaños, este proyecto incorpora celdas cilíndricas 18650. El numero hace referencia a la dimensión de la celda, concretamente 18 mm de diámetro, 65 mm de longitud y 0 indicando forma circular. Como se ha indicado en la ecuación anterior, debemos encontrar

una batería que permita la descarga de energía indicada, para ello se ha optado por un modelo generalmente usado en cigarrillos electrónicos, el “Samsung INR18650 30Q”.

Este modelo permite trabajar con:

- Voltaje nominal 3,7V
- Voltaje de corte en carga 4,2V
- Voltaje de corte en descarga 2,75V
- Capacidad 3000mAh
- Descarga máxima 10A
- 1000 ciclos de carga

Según las especificaciones de capacidad debemos considerar que

$$\text{Tiempo de uso de la batería } (T_f) = \frac{3Ah}{3,3A} = 0,91h \approx 55 \text{ min}$$

Ecuación 4 Tiempo de uso para la batería

Esta sería la autonomía para una batería de 12 voltios con celdas en serie. La ventaja de trabajar con celdas de ion litio reside en que se puede modificar los parámetros de voltaje y capacidad según el número de celdas. Si se realiza un circuito con celdas en serie aumentará el voltaje³⁰, si por el contrario se añade un conjunto de celdas en paralelo se aumentará la capacidad de descarga. En consecuencia, consideraremos el dimensionamiento según un conjunto 3s2p, 3 celdas en serie y dos en paralelo.

$$U_{Nominal} = 3,7V \cdot 3s = 11,1V$$

$$U_{maximo} = 4,2V \cdot 3s = 12,6V$$

$$U_{promedio} = 12V$$

$$C = 3000mAh \cdot 2p = 6000mAh = 6Ah$$

$$T_{f2} = \frac{6Ah}{3,3A} = 1,82h \approx 1h 49 \text{ min}$$

Ecuación 5 Cálculos para la obtención de una batería según las especificaciones deseadas

Ahora que ya hemos considerado el dimensionamiento teórico de la batería, se procede al montaje de la misma. El primer paso consiste en la impresión 3D de una sujeción para mantener el bloque 3s2p unido.

³⁰ El voltaje nominal de la celda es aquel para el cual se ha diseñado su uso, aunque es un valor intuitivo y la mayoría de fabricantes permiten valores de carga hasta 4,2V.



El diseño de la pieza se ha obtenido a través del portal Thingiverse, su impresión se realiza con PETG azul a 210°C para el cabezal y 90°C para la cama. La unión entre pieza y celdas se realiza mediante cola de contacto blanca.

Figura 90 Montaje de las celdas

Una vez se ha construido el bloque para lo que será la batería, podemos proceder a realizar las conexiones. Como podemos observar en la imagen anterior, la disposición se realiza colocando las celdas de los extremos con el polo positivo mirando hacia arriba, mientras que en el centro es el polo negativo. Así se consigue dos bloques de tres celdas en serie. Ahora se procede con una serie de soldaduras y debemos tener en cuenta el siguiente esquema.

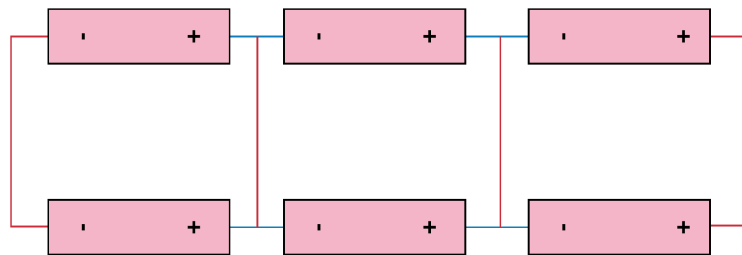


Figura 91 Esquema del circuito para la batería

Según la disposición que hemos escogido para ahorrar espacio este circuito se presentaría de la forma.

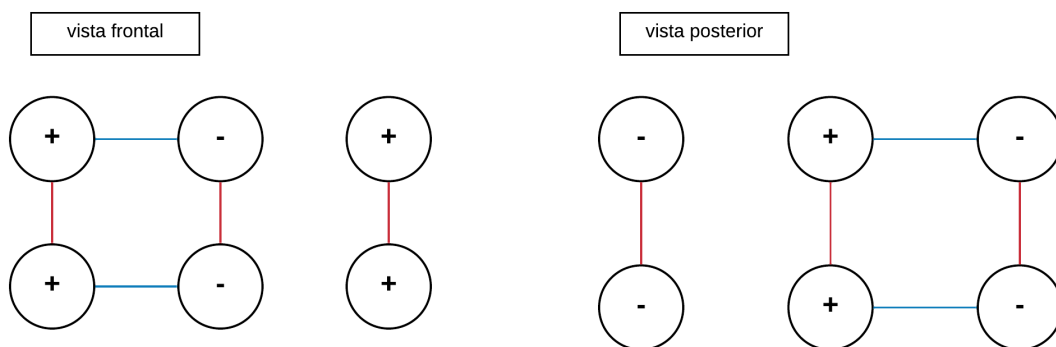


Figura 92 Esquema con las soldaduras correspondientes

Las conexiones en paralelo y en serie son fácilmente identificables según el color rojo i azul respectivamente. Ahora que tenemos el bloque de la batería formada, podemos pensar en

cargar la misma, pero no tenemos idea del tiempo de carga o la conexión esta. Además, tampoco tenemos la certeza de si la energía se distribuirá correctamente entre las celdas.

Para solucionar esto se requiere un BMS o “Módulo de protección de circuitos”. Este pequeño dispositivo electrónico se conecta a los terminales de las diversas celdas y permite actuar como gestor de carga y descarga. De esta manera se evita crear un grupo de celdas desbalanceadas, el voltaje para cada una de ellas deberá ser el mismo y por tanto se obtiene una batería que durará más tiempo. En este proyecto se va a utilizar un módulo “BMS 3s”, indicando que se conecta entre los terminales de cada celda en serie, estos módulos son relativamente baratos y pueden encontrarse en comercios como eBay o Amazon.

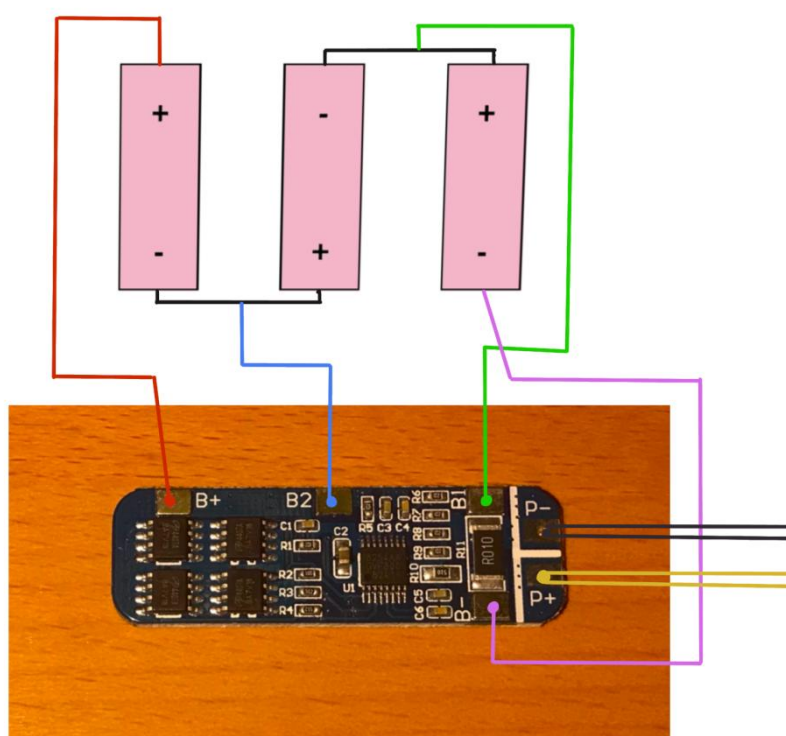


Figura 93 Esquema para la soldadura del BMS

En el diagrama superior puede verse las conexiones realizadas con el BMS, debemos comprobar que el voltaje entre B+ i B- debe ser el mismo que entre los extremos de P. Los extremos P+ y P- cuentan con un cable doble. Un par se conecta al transformador de 12V para la carga de la batería, el otro par de cables se conecta al amplificador para la descarga durante su uso. Cada extremo de P se ajusta a un conector circular macho-hembra de 5mm de diámetro para facilitar el montaje sin tener que soldar más puntos.

5.3.4 Ensamblaje final y prueba de funcionamiento

La explicación teórica del circuito ya se ha realizado, a continuación, vamos a ver el montaje práctico y su resultado final.

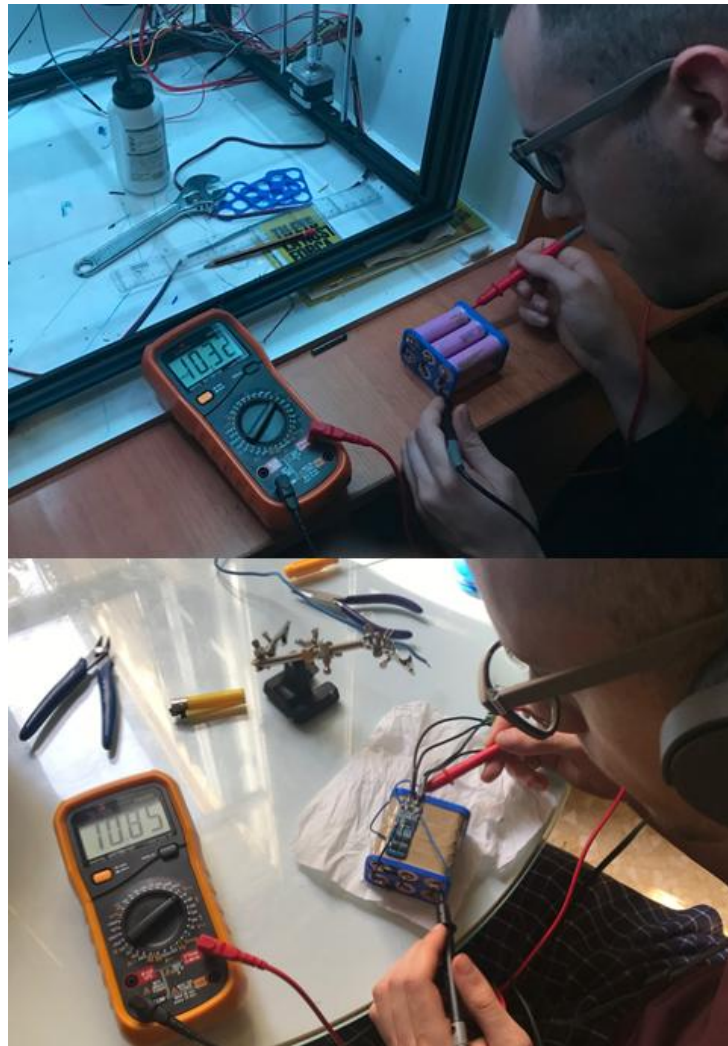


Figura 94 Test de carga para la batería

En la imagen superior puede verse el test realizado para comprobar el cargado de la batería. Por defecto, cada celda contenía un voltaje de 3,44V. Eso implica que el conjunto total al realizar las soldaduras entre celdas es de 10,32V, tal y como indica la primera imagen. A continuación hemos reforzado el conjunto mediante cinta adhesiva y se ha procedido a instalar el BMS, este componente puede fijarse al conjunto con cola de contacto. Una vez obtenemos la soldadura entre celdas y BMS sólo necesitamos conectar los cables que surgen de P+ y P- al transformador de 12V.

Podemos comprobar que la batería se carga ya que pasados unos minutos el voltaje medido entre los terminales (B+ B-) aumenta. Una vez se ha completado el periodo de carga obtenemos un voltaje total de 12.56 V, tiene sentido ya que como hemos comentado:

$$V_{\max \text{ celda}} = 4,20V$$

$$V_{\text{bateria}} = 4,20V \cdot 3s = 12,60V \approx 12,56V$$

Ecuación 6 Voltaje final de la batería

Por lo tanto, puede decirse que la batería esta lista para ser montada y se procede a realizar un test de funcionamiento para comprobar que se produce sonido. Este breve test puede verse en el canal de Youtube creado para el proyecto, a continuación se deja el enlace al video.

<https://youtu.be/1gCgvnfF1lY>

Para el montaje final se ha decidido realizar otra carcasa en PLA normal, esta pieza se cierra mediante la impresión de una base para el altavoz³¹ en PLA negro. El día de la presentación podrá verse tanto el diseño que se ve a continuación como la pieza impresa originalmente en con filamento de madera.

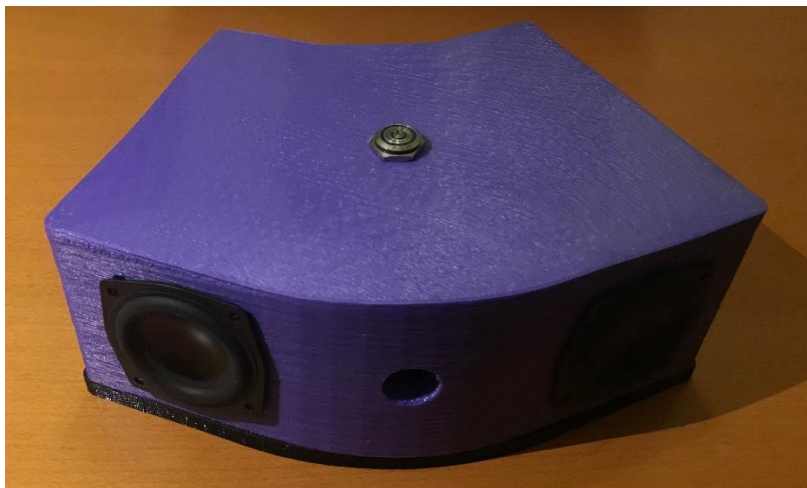


Figura 95 Diseño final del altavoz

³¹ Esta base, así como sus detalles geométricos, pueden observarse en el plano N°5 del documento.

6. PRESUPUESTO

Durante la realización del proyecto se ha necesitado mantener un control de los gastos, así mismo el precio de algunos componentes ha supuesto un valor superior al esperado. En la siguiente tabla se recoge el coste total de ejecución material del proyecto.

Materiales añadidos	Precio (€)	Cantidad	Total (€)
Kit de montaje Tonxy X5s	267,45	1	267,45
Paquete de Arandelas M4	2,5	1	2,5
Paquete de arandelas M5	2,5	1	2,5
Paquete de tornillos M5x25 mm	2	1	2
Paquete de tornillos M4x12	2	1	2
Paquete de tornillos M3x16mm	2	1	2
Correas de tensión GT2	10,9	2	21,8
Bridas	2,5	1	2,5
calentador de silicona 600W/220 V	72,99	1	72,99
Ventilador MVPOWER	9,99	1	9,99
Dayton ND65	26,2	2	52,4
Amplificador Kkmoon	14,99	1	14,99
Interruptor LED	6	1	6
Ventilador Noctua A4x10	12,9	2	25,8
Relé de estado sólido	4,31	1	4,31
Paquete de 5 drivers TMC2208	28,99	1	28,99
Sensor de nivelación Bltouch	44,99	1	44,99
Placa MKS Gen L	22,99	1	22,99
Uckoco acoplamiento motor-varilla	7,01	1	7,01
Paquete de cojinetes GT2 dentados	9,29	1	9,29
Tubo retráctil 2,5cm	1,3	1	1,3
Fusible 16 A	0,4	1	0,4
Cinta LED RGB	19,95	1	19,95
Cierres magnéticos (2)	4,2	1	4,2
Cables RGB	1,1	1	1,1
Cable estándar 220V	3,8	1	3,8
Cables jumper	6	2	12
Panel de madera MDF 244x122x1 cm	22,95	2	45,9
Panel acrílico 100x100x0,5 cm	38,99	1	38,99
Bisagras	2,5	3	7,5
Filamento PLA Tianse morado	18,99	1	18,99
Filamento PLA madera	28,95	1	28,95
Celda Samsung INR18650 30Q	3,75	6	22,60
BMS HX-35-01	1,24	1	1,24
		TOTAL	809,42

Tabla 3 Presupuesto material establecido para el proyecto

7. PLIEGE DE CONDICIONES TÉCNICAS

7.1 Mantenimiento del sistema y uso

El usuario responsable de la máquina o cualquier otro individuo que trabaje de forma regular con el sistema deberá tener en cuenta ciertos cuidados para el mantenimiento, alargando la vida útil del producto y evitando posibles incidentes.

- Debe prestarse atención a las correas de distribución GT2, en el caso que una de ellas o las dos presenten un defecto, deben cambiarse inmediatamente. En caso contrario y dependiendo del nivel de uso, puede actualizarse el material cada dos años.
- El usuario debe comprobar que los ventiladores del cabezal y de la fuente de alimentación funcionan una vez se les da corriente, en caso contrario se debe analizar si hay un problema en el cable o en la pieza mecánica y cambiarse.
- El usuario debe comprobar cada cierto tiempo que todos los cables presentan un buen aspecto, no hay malos olores y no hay posibilidad de un cruce entre ellos. Si un cable tiene mal aspecto debe cambiarse de inmediato, evitando así posibles riesgos de cortocircuito o incendio.
- Como medida preventiva se recomienda una revisión de los circuitos cada 6 meses. Siempre partiendo de un circuito sin corriente.
- Debe comprobarse que el relé sólido se mantenga a una temperatura coherente, en ningún caso debería superar los 60°C durante su uso. Si este fuera el caso, se debería implementar sistemas para la refrigeración del mismo o su sustitución.
- Bajo ningún concepto puede dejarse el relé al aire libre si hay partes metálicas que pueden entrar en contacto con el entorno, como medida preventiva debe cerrarse dentro de una caja de contención aislante.
- En caso de sobretensión prolongada o cortocircuito, debemos sustituir el fusible utilizado en el circuito para el calentamiento de la cama.
- Los componentes electrónicos no deben verse sometidos en ningún caso a temperaturas superiores a 50° C. Si así fuera, se debe recolocar el sistema y proporcionar refrigeración.

- Una vez se ha finalizado la impresión de una pieza y no se tiene intención de seguir trabajando con la máquina, debemos desconectar el sistema para evitar calentamientos innecesarios y otros posibles problemas.

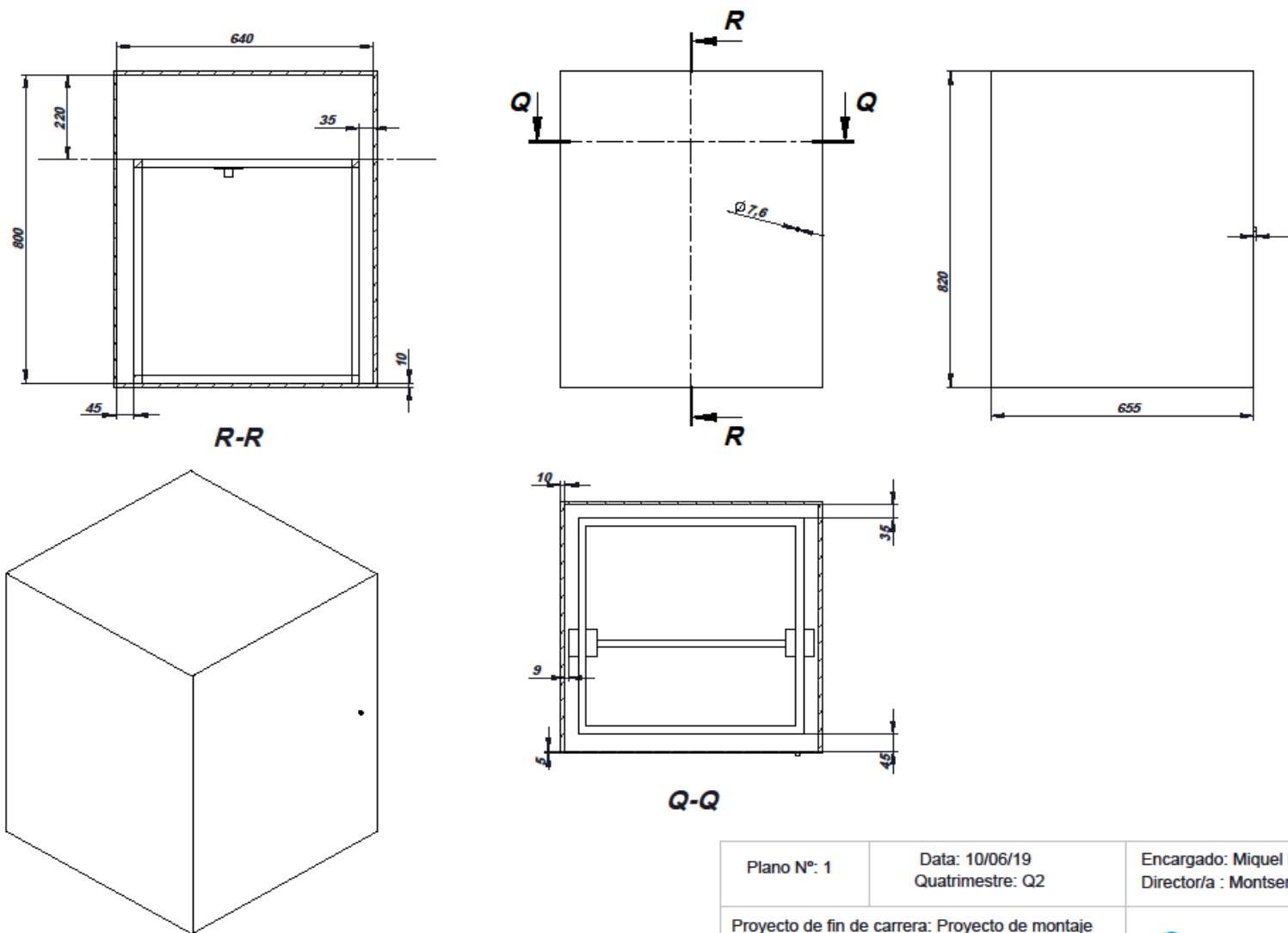
7.2 Normas de seguridad durante la instalación


El usuario responsable de la máquina, o en este caso del montaje ha de velar por un correcto seguimiento de ciertas normas de seguridad. Esto evitará tanto para él como otros terceros la posibilidad de sufrir un accidente.

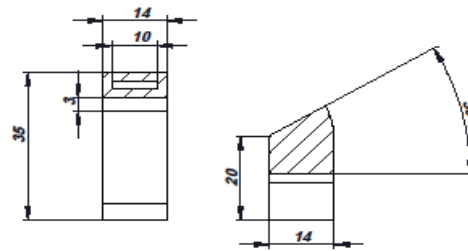
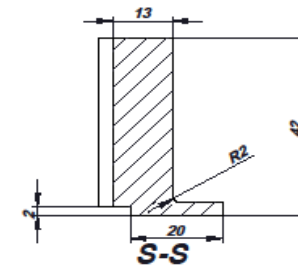
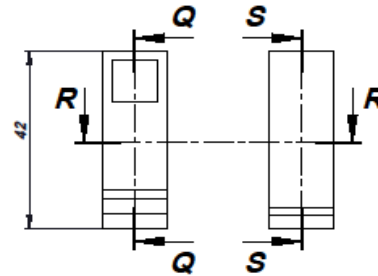
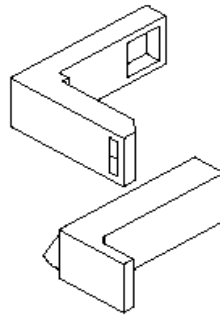
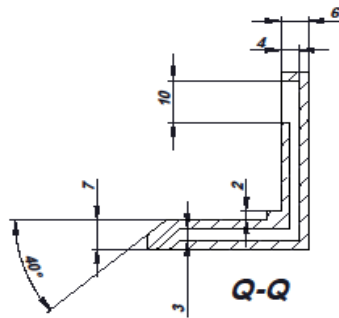
- Durante las operaciones de soldadura se debe disponer del material adecuado, el soldador no puede tocar el suelo u otras superficies que puedan estar en contacto con objetos o personas. Si es el caso, se debe adquirir una base para el reposo del instrumento.
- Las operaciones de montaje eléctrico deben llevarse a cabo con la máxima seguridad posible, si el usuario considera que no está capacitado debe delegar esta responsabilidad a un profesional. En ningún caso puede trabajarse en la modificación de un circuito alimentado. Siempre debemos asegurarnos que los materiales tratados no reciben corriente.
- Durante la configuración de la placa base y siempre que esta reciba corriente, no debe tocarse ningún elemento en contacto que pueda transmitir la corriente. Esto evitará daños en la placa y posibles accidentes al usuario.
- Durante el montaje de un recinto para la impresora, si es preciso cortar materiales, debe tomarse la precaución de llevar guantes de protección en caso de que se trabaje con sierras automáticas. Así mismo, es aconsejable disponer de una máscara de pintura durante este proceso para evitar los vapores tóxicos que puede desprender.
- La calibración de los drivers TMC debe realizarse mediante un destornillador con punta de estrella cerámica para evitar posibles cortocircuitos.

8.PLANOS


A continuación se muestra el conjunto de planos que se ha llevado a cabo durante el proyecto, algunos como piezas para la impresora y finalmente, el diseño de los altavoces.

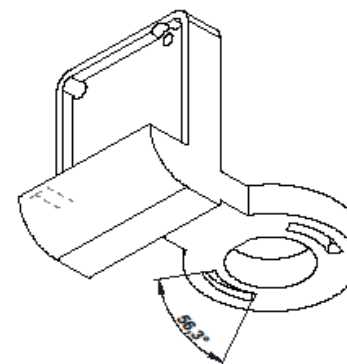
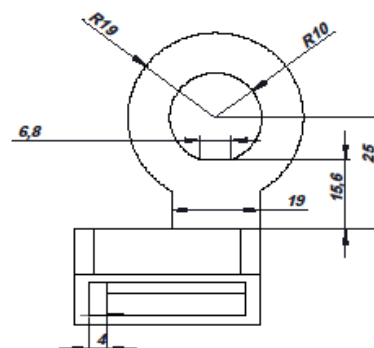
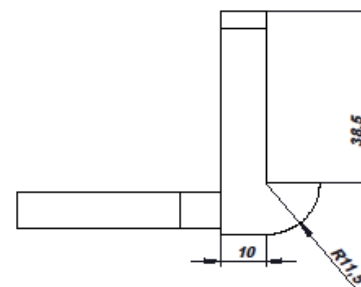
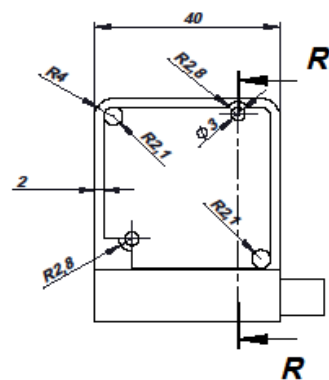
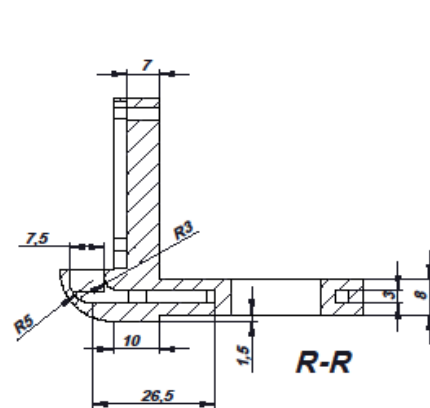



Plano N°: 1	Data: 10/06/19 Quatrimestre: Q2	Encargado: Miquel Martínez Alpín Director/a : Montserrat Sanchez Romero
Proyecto de fin de carrera: Proyecto de montaje de una impresora 3D y desarrollo de un manual práctico		 UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA BARCELONATECH <small>Escola Superior d'Enginyeries Industrial, Aeroespacial i Audiovisual de Terrassa</small>
Escala: 1:10	unidades: milímetros	

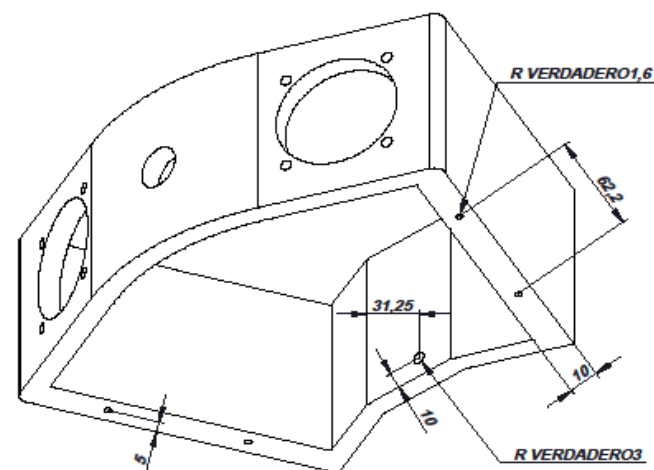
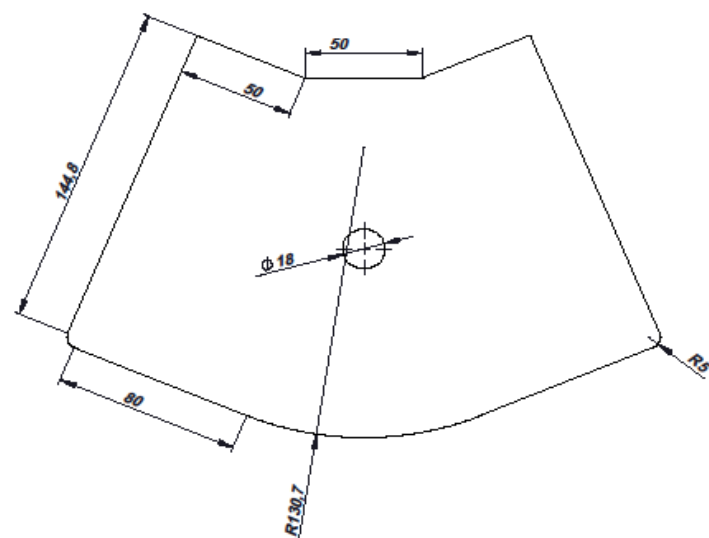
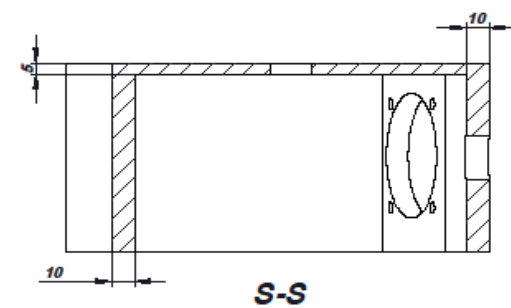
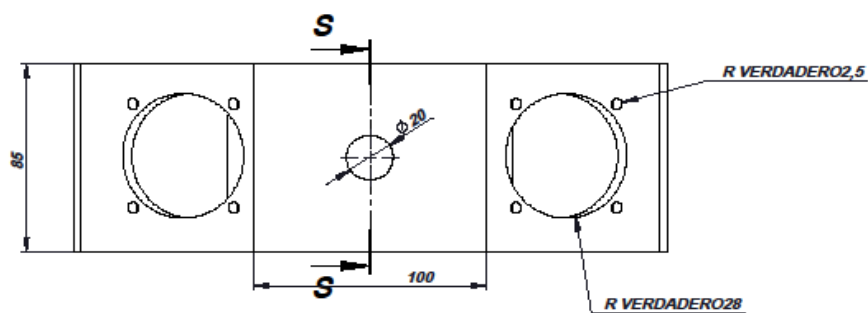



R-R

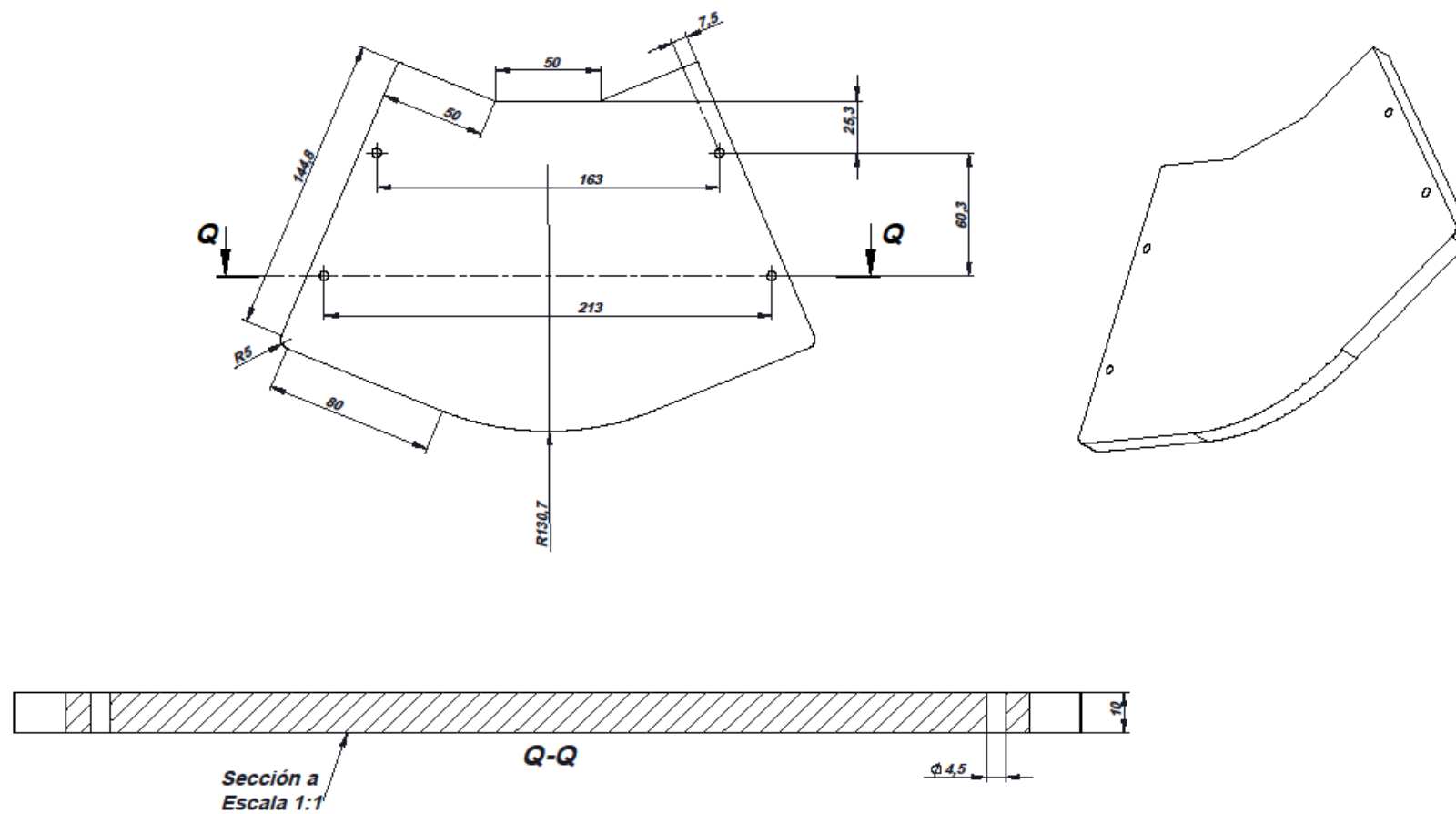
Plano N°: 2	Data: 10/06/19 Quatrimestre: Q2	Encargado: Miquel Martínez Alpin Director/a : Montserrat Sanchez Romero
Proyecto de fin de carrera: Proyecto de montaje de una impresora 3D y desarrollo de un manual práctico		 UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA <small>BARCELONATECH</small> Escola Superior d'Enginyeria Industrial, <small>Aeroespacial i Audiovisual de Terrassa</small>
Escala: 1:1	unidades: milímetros	




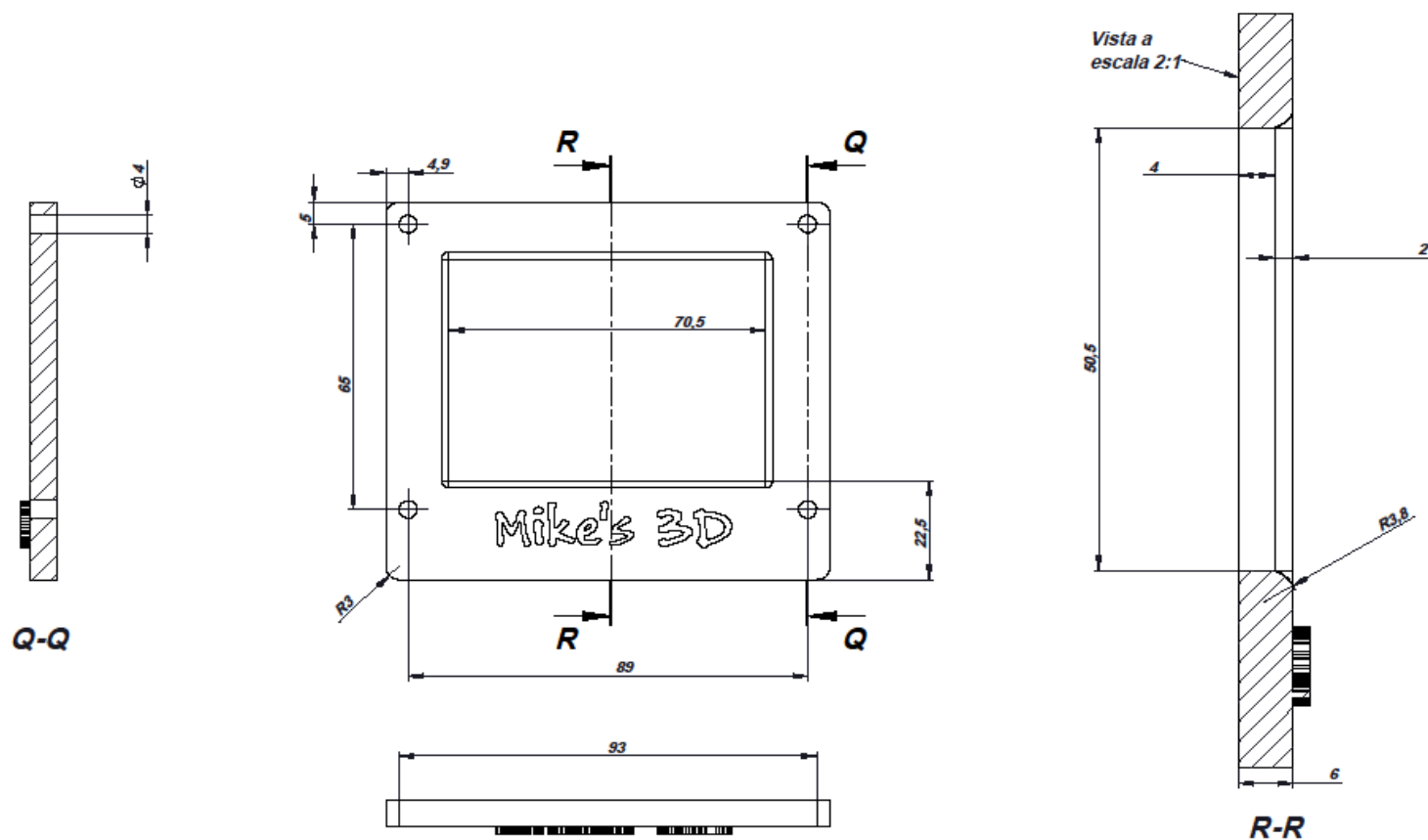
Plano N°: 3	Data: 10/06/19 Quatrimestre: Q2	Encargado: Miquel Martínez Alpin Director/a : Montserrat Sanchez Romero
Proyecto de fin de carrera: Proyecto de montaje de una impresora 3D y desarrollo de un manual práctico		 UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE GATALUNYA BAIX LLOBREGAT UPC <small>Escola Superior d'Enginyeries Industrial, Aeroespacial i Audiovisual de Terrassa</small>
Escala: 1:1	unidades: milímetros	




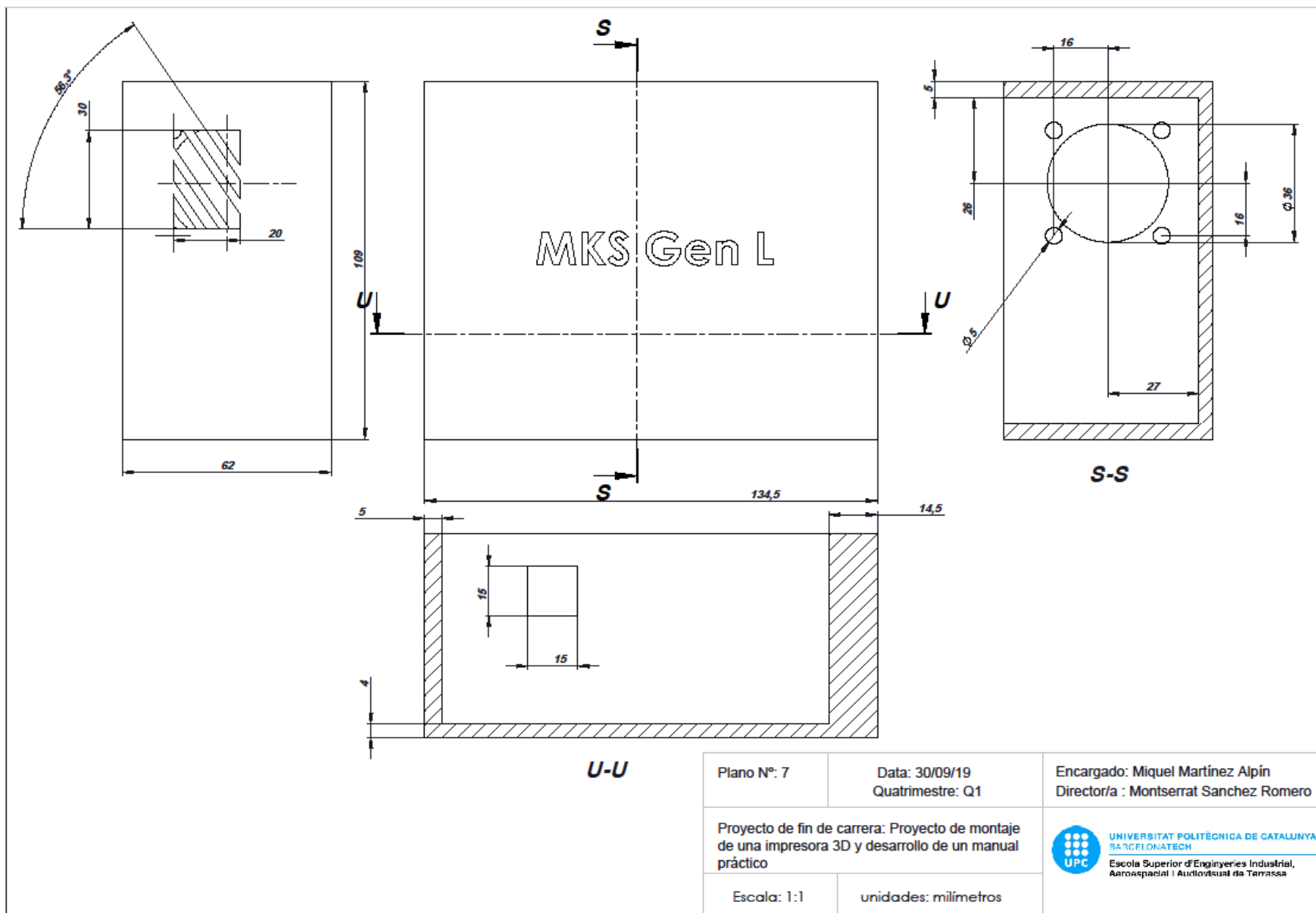
Plano N°: 4	Data: 10/06/19 Quatrimestre: Q2	Encargado: Miquel Martínez Alpin Director/a : Montserrat Sanchez Romero
Proyecto de fin de carrera: Proyecto de montaje de una impresora 3D y desarrollo de un manual práctico		 UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA BARCELONATECH Escola Superior d'Enginyeria Industrial, Aeroespacial i Audiovisual de Terrassa
Escala: 1:2	unidades: milímetros	



Plano N°: 5	Data: 30/09/19 Quatrimestre: Q1	Encargado: Miquel Martínez Alpín Director/a : Montserrat Sanchez Romero
Proyecto de fin de carrera: Proyecto de montaje de una impresora 3D y desarrollo de un manual práctico		 UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA BARCELONATECH Escola Superior d'Enginyeria Industrial, Aeroespacial i Audiovisual de Terrassa
Escala: 1:2	unidades: milímetros	



Plano N°: 6	Data: 30/09/19 Quatrimestre: Q1	Encargado: Miquel Martínez Alpín Director/a : Montserrat Sanchez Romero
Proyecto de fin de carrera: Proyecto de montaje de una impresora 3D y desarrollo de un manual práctico		 UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA BARCELONATECH <small>Escola Superior d'Enginyeries Industrial, Aeroespacial i Audiovisual de Terrassa</small>
Escala: 1:1	unidades: milímetros	



Producto SOLIDWORKS Educational. Solo para uso en la enseñanza.

9. CONCLUSIONES

Después de haber realizado este proyecto, de tantas horas invertidas y de todos los problemas que han surgido por el camino, el resultado obtenido es considerado gratificante para el estudiante. Estos meses han supuesto un continuo aprendizaje de cosas muy prácticas, se ha leído una gran cantidad de información acerca del mundo de impresión 3D y de sus sistemas. Este proyecto ha contado con momentos más complicados y otros menos técnicos, aunque en cómputo global ha requerido un repaso de los conceptos enseñados a lo largo de la carrera. Hemos podido ver situaciones en las que la mecánica del sistema no era favorable y se debía cambiar o crear alguna pieza, pasando por momentos en los que debíamos actualizar un sistema electrónico y su consiguiente lenguaje de programación. También se ha debido gestionar un control PID de la temperatura, aportando soluciones como el calentador, su correspondiente circuito y la construcción del cerramiento.

A juicio del estudiante, el proyecto ha contado con diversos éxitos, entre ellos varios de los objetivos iniciales. Así pues, la obtención de una máquina funcional con uno de los mayores volúmenes dentro del sector doméstico, la capacidad para poder imprimir objetos en ABS, el consumo eléctrico inferior a 800W y la implementación de un sistema de nivelación automático.

Las dos mejoras más significativas para este proyecto han sido la introducción del sensor de nivelación automática y el nuevo control PID gracias al calentador de 220V. De cara a un futuro se plantea otras posibles mejoras como la sustitución del cabezal actual por un E3V6. Para ello se debería adaptar la base del cabezal y hacerla más rígida, esta pieza permitirá una mejor disipación de la garganta al calentador y por ende reducirá probabilidades de tener obstrucciones.

Otra mejora que se plantea para un futuro es la adaptación de la impresora para trabajar con “OctoPrint”, una interfaz que permite activar y controlar fácilmente una impresión a distancia, mediante móvil o tableta. Este sistema podría ser el fruto para realizar un proyecto similar.

La realización de este proyecto ha supuesto un reto y no todos los objetivos han sido cumplidos. Se ha superado el presupuesto establecido en un principio, ha habido múltiples

retrasos respecto a la planificación inicial durante el transcurso del proyecto. También se han cometido muchos errores en los diseños de las piezas, lo que ha llevado a la consecuente pérdida de tiempo. Además, el sistema no es perfecto, sigue produciendo errores visibles en algunas piezas, generalmente en piezas grandes como por ejemplo el altavoz.

Esto significa que el trabajo no acaba aquí. A partir de ahora, depende del estudiante y del usuario doméstico mejorar periódicamente el sistema, seguir probando diseños, optimizaciones, y obtener datos a partir de los resultados. Si hay algo que puede sacarse como conclusión de este proyecto, es que no hay otra alternativa para aprender sin haberse equivocado antes. El estudiante, espera poder aportar un grano de arena dentro del mundo tecnológico, y mediante este proyecto, ayudar a quienquiera que opte por adquirir una impresora 3D.

10. BIBLIOGRAFIA

BRAIMAN, Edward. YouTube, 16 febrero 2019. MKS Gen L – 3D Touch. [Consulta: 2 abril 2019].

Disponible en:

<https://www.youtube.com/watch?v=0z-nMdv-VA0&list=WL&index=322&t=0s>

Configuring Marlin. Marlin Firmware: the code that makes things. [Consulta: 25 mayo 2019].

Disponible en:

<http://marlinfw.org/docs/configuration/configuration.html>

G-code Index. Marlin Firmware: the code that makes things. [Consulta: 25 mayo 2019].

Disponible en:

<http://marlinfw.org/meta/gcode/>

Guías impresión 3D. 3Dfils, 16 enero 2019. ¿Qué es el Gcode? Transformando tus modelos 3D al lenguaje de las impresoras. [Consulta: 25 mayo 2019]. Disponible en:

https://www.3dfils.com/es/blog/32_gcode?id_category=4

LLAMAS, Luis. Luis Llamas Ingeniería, informática y diseño. 3 octubre 2018. Motores paso a paso en silencio con Arduino y los drivers TCM2100, TMC2130 y TMC2208. [Consulta: 20 abril 2019]. Disponible en:

<https://www.luisllamas.es/motores-paso-a-paso-en-silencio-con-arduino-y-los-driver-tmc2100-tmc2130-y-tmc2208/>

LOCKER, Anatol. ALL3DP. 9 tipos de impresoras 3D: guía de tecnologías de impresión. [Consulta: 17 marzo 2019]. Disponible en:

<https://all3dp.com/es/1/tipos-de-impresoras-3d-tecnologia-de-impresion-3d/>

MATURANA, Jesús. Xataka, 20 febrero 2014. Éstas son las tecnologías de impresión 3D que hay sobre la mesa y lo que puedes esperar de ellas. [Consulta: 13 mayo 2019]. Disponible en:

<https://www.xataka.com/perifericos/estas-son-las-tecnologias-de-impresion-3d-que-hay-sobre-la-mesa-y-lo-que-puedes-esperar-de-ellas>

PID Tuning. RepRap, 26 julio 2019, 18:25. [Consulta: 25 mayo 2019]. Disponible en:

https://reprap.org/wiki/PID_Tuning

Redacción. Channel Partner, 9 enero 2017. Las ventas en impresoras 3D avanzan un 25% hasta septiembre. [Consulta: 27 febrero 2019]. Disponible en:

<http://www.channelpartner.es/negocios/noticias/1094820002202/las-ventas-de-impresoras-3d-avanzan-un-25-hasta-septiembre.1.html>

Redacción. Interempresas.net, 9 enero 2019. En 2019 el gasto mundial en impresión 3D se incrementará un 21.2% según IDC. [Consulta: 14 marzo 2019]. Disponible en:

<https://www.interempresas.net/Plastico/Articulos/231650-En-2019-el-gasto-mundial-en-impresion-3D-se-incrementara-un-21-2-por-ciento-segun-IDC.html>

RILEY, Chris. YouTube, 20 marzo 2019. Marlin Unified Bed Leveling – How to – Chris Basement. [Consulta: 11 septiembre 2019]. Disponible en:

<https://www.youtube.com/watch?v=ONpKxkil16Q&t=610s>

ROHRINGER, Sean. ALL3DP, 15 Julio 2019. 2019 3D Printer Filament Buyer's Guide. [Consulta: 2 Agosto 2019]. Disponible en:

<https://all3dp.com/1/3d-printer-filament-types-3d-printing-3d-filament/>

SANLADERER, Thomas. YouTube, 26 abril 2015. 3D printing guides: Going big with Solid State Relays!. [Consulta: 15 junio 2019]. Disponible en:

https://www.youtube.com/watch?v=TiEwNf1H_Tc&list=PLZFwo8e_aeqrQtn_ZaS96IE0L273oz-UW&index=57&t=0s

TH3D Studio. YouTube, 23 febrero 2017. Fixing RepRap discount clone LCDs – Barckwards Connectors. [Consulta: 25 agosto 2019]. Disponible en:

https://www.youtube.com/watch?v=ZvRfaYAlc4g&list=FLghAkGHRPioQXc6P3_KVFKg&index=14&t=25s

TMC2208. FYSECT WIKI. [Consulta: 25 mayo 2019]. Disponible en:

<https://wiki.fysetc.com/TMC2208/>

Toll, Micah. DIY lithium batteries, How to build your own battery packs. [En línea]. Toll Publishing, 20 marzo 2017. Formato en ebook. [Consulta: 17 agosto 2019]. Disponible a través de la tienda Kindle en Amazon.

Unified Bed Leveling. Marlin Firmware: the code that makes things. [Consulta: 10 septiembre 2019]. Disponible en:

http://marlinfw.org/docs/features/unified_bed_leveling.html

3DMaker ES. YouTube, 26 agosto 2018. Configuración TFT32 de Makerbase.[Consulta: 3 agosto 2019]. Disponible en:

https://www.youtube.com/watch?v=wsBuGoTrC4I&list=PLZFwo8e_aeqrQtn_ZaS96IE0L273oz-UW&index=19&t=0s

3DMN. YouTube, 31 octubre 2017. Calibrating Z-Offset with a BLTouch bed leveling probe. [Consulta: 25 agosto 2019]. Disponible en:

https://www.youtube.com/watch?v=y_1Kg45APko&list=FLghAkGHRPioQXc6P3_KVFKg&index=35&t=298s

ANEXO A


A continuación, se describe todas las piezas necesarias para el desarrollo del montaje.³²








- Elementos básicos para el montaje

	Perfil de Aluminio A: 20X40X53 mm
	Perfil de Aluminio B: 20x20x530 mm
	Perfil de Aluminio C: 20x20x460 mm
	Perfil de Aluminio D: 20x20x484 mm

³² Todas las imágenes que aparecen en este anexo han sido hechas durante el montaje del proyecto, no pertenecen a terceros.

	<p>Tornillo PM4x9 mm Tornillos PM4 x12 mm Tornillos PM4x20 mm</p>
	<p>Tornillo PM5x25 mm</p>
	<p>Perfil T (M4)</p>
	<p>Arandela M4</p>
	<p>Arandela M5</p>
	<p>Taco de goma</p>

	<p>Placas de deslizamiento izquierda y derecha , (L & R).</p>
	<p>Cabezal con cadena</p>
	<p>Tornillos PM3x10 mm Tornillos PM3x8 mm</p>
	<p>Motores X, Y</p>
	<p>Motores Z</p>
	<p>Poleas Izquierda y derecha</p>
	<p>Placas eje Z</p>

	<p>Guías Z</p>
	<p>Cojinete de cobre</p>
	<p>Asentamiento para la varilla roscada</p>
	<p>Cierres AM3</p>
	<p>Pasos M3 hexagonales</p>
	<p>Sujetador de cadena</p>
	<p>Varillas roscadas T8x453 mm</p>

	<p>Extrusor pre ensamblado</p>
	<p>Cama caliente 330x330 mm</p>
	<p>Varillas D8x525 mm</p>
	<p>Arandelas partidas M4</p>
	<p>Muelles</p>
	<p>KM3x30</p>
	<p>Correas GT2</p>

	<p>Bridas</p>
	<p>Fuente de alimentación</p>
	<p>Sujetador Y, Z Sensores de límite de carrera Y, Z</p>
	<p>PA2x10 mm</p>
	<p>Controlador LCD</p>
	<p>Placa base Melzi</p>

- Elementos añadidos en el montaje de la impresora

	<p>BLTouch</p>
	<p>Bisagras 50x12 mm</p>
	<p>Cable estándar 220v /16A</p>
	<p>Calentador de Silicona Hembollo: 220v / 600 W</p>
	<p>Cables RGB</p>

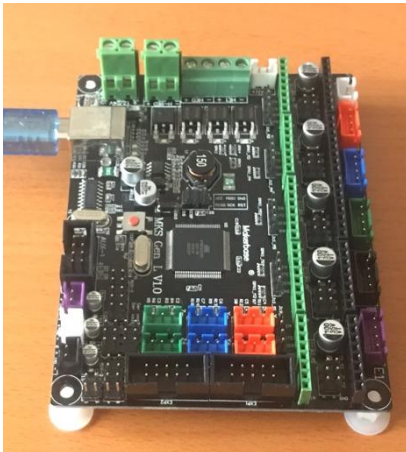
	<p>Cables “Jumper”</p>
	<p>Cierres magnéticos</p>
	<p>Cinta led RGB con PWM</p>
	<p>Cojinetes dentados GT2 20 dientes</p>
	<p>Controlador MKS TFT 28'</p>
	<p>Fusible de cristal 16 A</p>



Panel madera MDF 65x65x10 mm
Panel de madera MDF 65x80x10 mm
Panel de madera MDF 63x80x10 mm



Panel plexiglass 100x100x5 mm




Placa base MKS Gen L







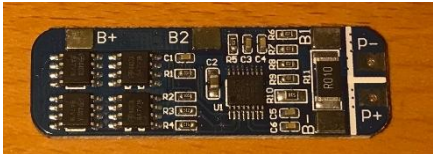

Pomo de hierro

	<p>Relé de estado sólido AC-220 V / DC – 3-32 V</p>
	<p>TMC 2208 (drivers)</p>
	<p>Tubo retráctil 2,50 cm</p>
	<p>Ukcoco acoplamiento motor - varilla</p>
	<p>Ventilador Noctua A4x10 mm</p>

	<p>Ventilador MVPOWER X000TWO7FB</p>
---	--------------------------------------

1.1 Elementos que forman el diseño práctico

	<p>Amplificador KKmoon 50 + 50 W</p>
	<p>Convertidor JBL reciclado 220v AC – 12v DC</p>
	<p>Dayton ND65 – full range driver</p>

	<p>Interruptor LED con rosca 20mm / 12 V</p>
	<p>BMS 3s</p>
	<p>Samsung INR18650 30Q</p>

ANEXO B

1.1 Definición

A continuación, se describe el significado del término gcode y se da un listado con la configuración usada durante el proyecto³³. También se incluye algún otro código considerado de utilidad para la configuración de la máquina.

Según diversos artículos publicados en internet, el gcode o “código geométrico es un lenguaje de programación usado en control numérico, permite al usuario indicar a la máquina que debe hacer y cómo hacerlo. Esto se consigue mediante instrucciones, que indican la posición y velocidad que debe seguir el cabezal, los parámetros de temperatura de la máquina, y la velocidad de extrusión”. (Guías impresión 3D, 2019)

Cuando se realiza el diseño de una pieza en STL, la máquina no es capaz de entender que debe hacer para crear la pieza. El único modo es crear un archivo gcode a partir del formato inicial. Esto significa que se pasará de un modelo geométrico a un conjunto de variables, (coordenadas, velocidad, temperatura) con las que si puede trabajar la máquina. Las instrucciones más importantes para el proyecto se describen a continuación.

1.2 Listado de gcode

G0 – este comando permite el movimiento lineal del cabezal en una dirección determinada.

Por ejemplo:

- si se quiere colocar a 3cm respecto el origen de coordenadas, se escribirá G0 Y30.

G1 – Permite de igual forma el movimiento lineal de un cabezal y el control de extrusión al mismo tiempo, por lo tanto, podrá darse una orden de coordenadas y velocidad en LA proporción de material plástico. Un ejemplo para este comando:

- G1 F1000 – establece el “fedérate” o velocidad de extrusión en 1000mm/s
- G1 X20 Y50 – mueve el cabezal a las coordenadas (20,50) mientras proporciona el plástico.

G4 S – este comando permite pausar las demás ordenes entrantes durante un cierto tiempo en segundos, la letra S a continuación indica el tiempo de la pausa.

- G4 S8 cancela las órdenes entrantes durante ocho segundos.

³³ Toda la información descrita en este anexo se ha consultado en la página oficial de marlín, por tanto, no son conceptos desarrollados por el estudiante. Este anexo sólo tiene la finalidad de transmitir el conocimiento de los desarrolladores, se adjunta en la bibliografía la dirección de consulta.

G21 – Por defecto las unidades de la máquina están en milímetros, aunque esta puede modificarse. Para volver a establecer las unidades pertinentes.

G27 – Este comando hace referencia a la función en Marlin para colocar el cabezal en una determinada posición fijada, requiere que “NOZZLE_PARK_FEATURE” esté activado. Una vez se introduzca el comando, se moverá el conjunto a las coordenadas definidas en el código.

G28 – Este es el comando más importante de la lista, corresponde a la función “homing” y se activará cada vez que se utilice la impresora para detectar las coordenadas (0, 0,0).

G29 – El comando para realizar la nivelación automática de la cama, para poder activarse deberá haber seleccionada alguna de las opciones descritas en el código de Marlin. Además, este parámetro no podrá ejecutarse sin haber realizado previamente un G28.

G30 – Se ejecutará para indicar a la impresora que se mueva en dirección Z hasta que el sensor de nivelación detecte la superficie, entonces reportará la distancia. A diferencia de la nivelación, este comando sólo ejecuta el test en un punto determinado.

M17 – Activa la corriente en los motores por pasos.

M18 – Desactiva la corriente en los motores por pasos.

M104 – Establece la temperatura del cabezal de impresión. Por ejemplo:

- M104 S120 para una temperatura requerida de 120º C

M105 – Da información al programa de la temperatura con la que se está trabajando.

M106 – Establece la velocidad de giro en los ventiladores. Mediante un control manual en programas como Repetier el cambio en la velocidad es instantáneo. Si no se especifica un valor concreto, el comando activará la máxima velocidad para el ventilador, en cambio se puede dar un valor de 0 a 255 para el control PWM que regulará la velocidad. Por ejemplo:

- M106 S128 determina una velocidad del 50% en los ventiladores.

M107 – Desactiva los ventiladores.

M112 – El uso de este comando es para ocasiones de emergencia. Su función es desactivar los motores, el calentamiento y, si se ha instalado una fuente inteligente, la suspensión de la fuente de alimentación. La acción para este comando es instantánea.

M120 – Este comando activa los sensores de final de carrera. Por lo tanto, si se presionan, se tomará el valor de esa coordenada como punto de referencia.

M121 – Se desactivan los sensores de final de carrera.

M140 – Este comando establece la temperatura para la cama caliente. Por ejemplo:

- M140 S80 determina una temperatura de 80º C en la cama caliente.

M150 – Si se dispone de una tira LED RGB instalada en la placa, se podrá modificar el color mediante este comando. Como en el caso del ventilador, se dará valores de 0 a 255 para un control PWM de cada color básico.

M206 – Este comando permite establecer la posición desde la que partirá la impresora como referencia una vez ejecutado G28, no tienen por qué ser las mismas coordenadas que las del comando.

- M206 X5, Y15, Z-2,5 para la posición (5, 15, -2,5) milímetros.

M211 – Este comando es importante para la calibración de los límites de carrera. Su función es la activación o desactivación de los límites de carrera establecidos mediante software, es decir las posiciones mínimas, e informar de su estado.

M221 – Determina el porcentaje de extrusión. Por ejemplo:

- M221 S90 Activa el extrusor para que trabaje a un 90% de su velocidad de referencia.

M303 – Activa el proceso de calentamiento por intervalos para determinar el mejor control PID para un extrusor o cama caliente.

M304 – Establece los valores del PID obtenidos por M303 u otros para la cama caliente.

M500 – Guarda todos los parámetros de configuración en la EEPROM.

M501 – Carga todos los parámetros en el programa de la placa base.

M502 – Borra todos los parámetros actuales de la EEPROM y restablece el sistema a la configuración inicial.

M503 – Muestra en pantalla todos los parámetros del sistema.

M851 – Este comando permite determinar la distancia real a la que se deberá situar el cabezal de la impresora para poder realizar una primera capa correctamente. Se deberá ejecutar después del comando G28. Su función explícita es el guardado de la distancia en milímetros que deberá tener el cabezal respecto al valor de referencia ejecutado por G28. Por ejemplo:

- M851 Z-1,5 El cabezal deberá empezar a imprimir a una altura inferior de 1,5 milímetros respecto al valor devuelto por G28.

ANNEX VI – DECLARACIÓ D'HONOR

I declare that,

the work in this Degree Thesis is completely my own work,

no part of this Degree Thesis is taken from other people's work without giving them credit, all references have been clearly cited, I'm authorised to make use of the company's related information I'm providing in this document (*select when it applies*).

I understand that an infringement of this declaration leaves me subject to the foreseen disciplinary actions by *The Universitat Politècnica de Catalunya - BarcelonaTECH*.

Miquel Martínez Alpín

Student Name

Signature

30-09-2019

Date

Title of the Thesis: Proyecto de montaje de una impresora 3D y redacción de un manual práctico.